



**TUGAS AKHIR - TL141584**

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF  
DAN JENIS CURRENT COLLECTOR TERHADAP SIFAT  
KAPASITIF SUPERKAPASITOR BERBAHAN GRAPHENE**

**HOPPY ADI PUTRA  
NRP. 2712 100 062**

**Dosen Pembimbing  
Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D.  
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.**

**Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL141584**

**ANALYSIS THE EFFECT OF ACTIVATED CARBON  
ADDITION AND TYPE OF CURRENT COLLECTOR ON  
CAPACITIVE PROPERTIES OF GRAPHENE BASED  
SUPERCAPCITOR**

**HOPPY ADI PUTRA  
NRP. 2712 100 062**

**Advisor  
Diah Susanti, S.T.,M.T.,Ph.D.  
Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.**

**Material and Metallurgical Engineering Dept.  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2016**

***(halaman ini sengaja dikosongkan)***

**ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN KARBON  
AKTIF DAN JENIS CURRENT COLLECTOR  
TERHADAP SIFAT KAPASITIF SUPERKAPASITOR  
BERBAHAN GRAPHENE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Material Inovatif  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**HOPPY ADI PUTRA**

NRP 2712100062

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Diah Susanti, S.T., Ph.D. .... (Pembimbing 1)
2. Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si. .... (Pembimbing 2)



Surabaya,

Juli 2016

***(halaman ini sengaja dikosongkan)***

# **ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF DAN JENIS CURRENT COLLECTOR TERHADAP SIFAT KAPASITIF SUPERKAPASITOR BERBAHAN GRAPHENE**

**Nama** : Hoppy Adi Putra  
**NRP** : 2712 100 062  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing I** : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
**Dosen Pembimbing II** : Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

## **Abstrak**

*EDLC (Electric Double Layer Capacitor) merupakan salah satu media penyimpanan energy yang menjanjikan karena EDLC mempunyai kapasitansi yang lebih tinggi daripada kapasitor konvensional dan juga lebih ramah lingkungan. Pemilihan material elektroda dan current collector merupakan faktor yang mempengaruhi nilai kapasitansi dari EDLC. Penelitian ini menggunakan material Graphene yang dicampur dengan karbon aktif sebagai Elektroda kerja dan Nickel Foam serta Carbon Cloth sebagai current collector pada elektroda. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan karbon aktif dan jenis current collector terhadap sifat kapasitif superkapasitor berbahan Graphene. Graphene disintesis dengan karbon aktif menggunakan metode stirrer dengan variasi komposisi karbon aktif yang berbeda. Sifat kapasitif Elektroda diukur dengan melakukan uji Cyclic Voltametry (CV) dengan rentang scan rate 5,10,50 dan 100 mV/s. Dari hasil penelitian didapatkan penambahan karbon aktif pada Graphene yang paling optimal adalah 20%wt dengan nilai kapasitansi sebesar 302.88 F/g. Diketahui juga bahwa penggunaan Nickel foam sebagai current collector lebih baik dibanding Carbon Cloth.*

**Kata kunci : EDLC, Graphene, karbon aktif, current collector, kapasitansi**

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



# **ANALYSIS THE EFFECT OF ACTIVATED CARBON ADDITION AND TYPE OF CURRENT COLLECTOR ON CAPACITIVE PROPERTIES OF GRAPHENE BASED SUPERCAPCITOR**

**Name** : Hoppy Adi Putra  
**NRP** : 2712 100 062  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Diah Susanti, S.T., M.T., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Hariyati Purwaningsih, S.Si., M.Si.

## **Abstract**

*EDLC (Electric Double Layer Capacitor) is a promising energy storage media, because EDLC has a higher capacitance than conventional capacitors and also better for the environment. Selection of electrode material and current collector is a factor that affects the value of the capacitance of EDLC. This study uses a Graphene material that is added with the activated carbon as a working electrode and Nickel Foam also Carbon Cloth as a current collector in the electrode. The purpose of this study is analyze the effect of the addition of activated carbon and the type of current collector to the capacitive properties of Graphene-based supercapacitor. Graphene / activated carbon synthesized using stirrer methods with a variety of different compositions of activated carbon. The capacitive properties of electrodes are measured by Cyclic voltammetry (CV) test with a scan rate range of 5,10,50 and 100 mV / s. From the results, the most optimal addition of activated carbon in Graphene is 20% wt with a capacitance value of 302.88 F / g. Also known that the use of Nickel Foam as a current collector is better than Carbon Cloth.*

**Keywords:** *EDLC, Graphene, karbon aktif, current collector, capacitance*

***(halaman ini sengaja dikosongkan)***

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kapasitor .....	5
2.2 EDLC (Electrical Double Layer Capacitor) .....	7
2.4 Karakteristik Supercapacitor .....	10
2.4 Karbon Aktif.....	12
2.5 <i>Graphene</i> .....	14
2.6 Sintesis <i>Graphene</i> .....	17
2.6.1 Oksidasi grafit .....	18
2.6.2 Reduksi grafit oksida.....	19
2.6.3 Metode Hydrothermal.....	19
2.7 <i>Current collector</i> .....	20
2.7 Penelitian-penelitian yang telah dilakukan.....	21
BAB III METODELOGI PENELITIAN .....	25
3.1 Bahan.....	25
3.2 Alat .....	25
3.3 Diagram Alir Penelitian.....	27
3.3.1 Sintesis Grafit Oksida.....	27
3.3.2 Sintesis <i>Graphene</i> .....	28
3.3.3. Pembuatan Elektroda Nickel Foam .....	29
3.3.3. Pembuatan Elektroda Carbon Cloth .....	30
3.3.4 Pengujian .....	31
3.4 Metode Penelitian.....	31
3.4.1. Sintesis Grafit Oksida.....	32
3.4.2. Sintesis <i>Graphene</i> .....	33

3.4.3 Penambahan karbon aktif dan pembuatan Elektroda.....	36
3.5 Pengujian.....	38
3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM).....	38
3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD).....	39
3.5.3 Cyclic Voltametry .....	41
3.5.4 Four Point Probe (FPP) .....	43
3.6 Rancangan Penelitian .....	46
3.7 Jadwal Kegiatan .....	47
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	49
4.1 Pengujian X-Ray Diffractometry (XRD) .....	49
4.2 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) .....	51
4. 3 Pengujian Four Point Prober (FPP) .....	56
4.4 Pengujian Cyclic Voltametry .....	58
4.4.1 Uji Cyclic Voltametry Nickel Foam dan Carbon Cloth ..	58
4.4.2 Uji Cyclic Voltametry <i>Graphene</i> .....	59
4.4.3 Uji Cyclic Voltametry Karbon Aktif.....	64
4.4.4 Uji Cyclic Voltametry <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif .....	68
4.4.5 Pengaruh penambahan karbon aktif terhadap sifat kapasitif superkapasitor <i>Graphene</i> .....	77
4.4.6 Pengaruh penggunaan <i>current collector</i> terhadap sifat kapasitif superkapasitor <i>Graphene</i> .....	80
BAB V KESIMPULAN .....	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	xxiii
LAMPIRAN .....	xxiii
BIODATA PENULIS.....	li

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Plot Ragone untuk storage energy devices (Winter dan Brodd 2004).....	6
Gambar 2. 2 Model pembentukan lapisan elektrokimia ganda (Kurzweil dkk. 2009).....	8
Gambar 2. 3 Skema proses charging and discharging pada EDLC (Murata co Ltd, 2013).....	9
Gambar 2. 4 Tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor..	11
Gambar 2. 5 Hasil Uji XRD Karbon Aktif dari Tempurung kluwak dan Kelapa (Haniffudin,2012) .....	14
Gambar 2. 6 Hasil Uji SEM Karbon Aktif dari Tempurung kluwak (Haniffudin,2011) .....	14
Gambar 2. 7 Hasil SEM <i>Graphene</i> (Mei, Meng, dan Wu 2015).	15
Gambar 2. 8 Pola XRD pada grafit, grafit oksida, dan <i>Graphene</i> (Liu, Huang, dan Wang 2013).....	16
Gambar 2. 9 Oksidasi grafit menjadi grafit oksida dan reduksi grafit oksida menjadi <i>Graphene</i> (Mohan dkk. 2015) .....	17
Gambar 2. 10 Karakteristik Elektrokimia untuk <i>current collector</i> yang berbeda. (a) Kapasitansi spesifik vs. siklus; (b) Kapasitansi spesifik vs. laju arus .....	21
Gambar 2. 11 Bentuk kurva CV sampel 160o C ultrasonikasi 1,5 jam dalam larutan Na2SO4 1 M pada rentang potensial window 0 – (-0,5) V .....	23
Gambar 2. 12 Bentuk kurva CV sampel dalam larutan KOH 6 M pada rentang potensial window 0 – 1 V .....	24
Gambar 3. 1 Diagram alir sintesis grafit oksida .....	27
Gambar 3. 2 Diagram Alir Sintesis <i>Graphene</i> .....	28
Gambar 3. 3 Diagram alir pembuatan Elektroda Nickel Foam ...	29
Gambar 3. 4 Diagram alir pembuatan Elektroda Carbon Cloth ..	30
Gambar 3. 5 Diagram alir pengujian .....	31
Gambar 3. 6 (a) Proses stirring pada temperatur <i>icebath</i> (approx 5°C) (b) kondisi larutan setelah penambahan NaNO <sub>3</sub> dan KMnO <sub>4</sub> ..	32
Gambar 3. 7 Mekanisme terbentuknya <i>Graphene</i> oksida dari grafit oksida melalui proses ultrasonikasi (Konios, dkk, 2014) ..	34

Gambar 3. 8 Skema reaksi reduksi <i>Graphene</i> oksida menjadi <i>Graphene</i> /rGO.....	35
Gambar 3. 9 Sampel elektroda yang telah dibuat, (a) Carbon Cloth, (b) Nickel Foam.....	37
Gambar 3. 10 (a) Skema kerja SEM (b) Scanning Electron Microscopy (SEM) Inspect S50 .....	39
Gambar 3. 11 (a) Instrumen XRD PANalytical (b) Pola Difraksi Sinar-x .....	40
Gambar 3. 12 (a) skema rangkaian (Hartono dkk. 2013) (b) Pengujian FPP .....	44
Gambar 4. 1 XRD pattern pada grafit, grafit oksida, <i>Graphene</i> dan karbon aktif.....	49
Gambar 4. 2 Perbandingan hasil SEM 10.000x antara (a) grafit, (b) grafit oksida, (c) <i>Graphene</i> dan (d) karbon aktif .....	52
<b>Gambar 4. 3</b> Hasil SEM dari (a) Nickel Foam dan (b) Carbon Cloth dengan perbesaran 500x .....	53
Gambar 4. 4 Morfologi Elektroda (a) Nickel Foam- <i>Graphene</i> dan (b) Carbon Cloth- <i>Graphene</i> dengan perbesaran 500x.....	53
Gambar 4. 5 Morfologi Elektroda (a) Nickel Foam-Karbon Aktif dan (b) Carbon Cloth-Karbon Aktif dengan perbesaran 500x.....	54
Gambar 4. 6 Morfologi Elektroda Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif dengan perbesaran 500x dan variasi massa karbon aktif (a)20%, (b) 30%, (c) 40% .....	55
Gambar 4. 7 Morfologi Elektroda Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif dengan perbesaran 500x dan variasi massa karbon aktif (a)20%, (b) 30%, (c) 40% .....	56
Gambar 4. 8 Kurva E vs C hasil uji CV (a) Nickel Foam , (b) Carbon Cloth .....	58
Gambar 4. 9 Kurva E vs C hasil uji CV (a) Nickel Foam- <i>Graphene</i> , (b) Carbon Cloth- <i>Graphene</i> .....	59
<b>Gambar 4. 10</b> Plot Ragone hasil uji CV <i>Graphene</i> .....	62
Gambar 4. 11 Kurva E vs C hasil uji CV (a) Nickel Foam - Karbon Aktif , (b) Carbon Cloth-Karbon Aktif.....	64
Gambar 4. 12 Plot Ragone hasil uji CV Karbon Aktif.....	66

<b>Gambar 4. 13</b> Kurva E vs C hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif 20 % (a) Nickel Foam, (b) Carbon Cloth .....	68
Gambar 4. 14 Kurva E vs C hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif 30 % (a) Nickel Foam, (b) Carbon Cloth .....	69
Gambar 4. 15 Kurva E vs C hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif 40 % (a) Nickel Foam, (b) Carbon Cloth .....	70
Gambar 4. 16 Plot Ragone hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif 20% .....	74
Gambar 4. 17 Plot Ragone hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif 30% .....	74
Gambar 4. 18 Plot Ragone hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif 40% .....	75
Gambar 4. 19 Grafik perbandingan nilai kapasitansi (a) Nickel Foam (b) Carbon Cloth.....	79
Gambar 4. 20 Grafik perbandingan nilai kapasitansi Nickel Foam dengan Carbon Cloth.....	80

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan nilai kapasitansi dari superkapasitor <i>Graphene</i> .....	21
Tabel 3. 1 Komposisi bahan elektroda .....	36
Tabel 3. 2 Informasi yang terkandung dalam karakter tinggi, posisi serta lebar dan bentuk puncak difraksi (Pratapa, 2004) ..	41
Tabel 3. 3 Rancangan Penelitian .....	46
Tabel 3. 4 Jadwal Kegiatan .....	47
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan peak pada grafit, grafit oksida, dan <i>Graphene</i> .....	50
Tabel 4. 2 Hasil perhitungan uji FPP.....	57
Tabel 4. 3 Perhitungan kapasitansi spesifik <i>Graphene</i> .....	61
Tabel 4. 4 Perhitungan Energi spesifik dan Daya spesifik dari hasil uji CV <i>Graphene</i> .....	62
Tabel 4. 5 Perhitungan kapasitansi spesifik Karbon Aktif .....	66
Tabel 4. 6 Perhitungan Energi spesifik dan Daya spesifik dari hasil uji CV Karbon Aktif .....	67
Tabel 4. 7 Perhitungan kapasitansi spesifik <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif.....	72
Tabel 4. 8 Perhitungan Energi spesifik dan Daya spesifik dari hasil uji CV <i>Graphene</i> dengan variasi penambahan karbon aktif	75

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap listrik saat ini semakin meningkat dari waktu ke waktu, perkembangan teknologi pada barang-barang elektronik juga semakin pesat, salah satunya adalah pengembangan pada kapasitor. Pengembangan kapasitor saat ini telah memasuki era pengembangan superkapasitor. Superkapasitor, sebagai alat penyimpan energi, telah digunakan secara luas pada bidang elektronik dan transportasi, seperti sistem telekomunikasi digital, komputer dan *pulse laser system*, *hybrid electrical vehicles*, dan sebagainya (Zhu dkk., 2007).

*Electrochemical Double Layer Capacitor* (EDLC) merupakan superkapasitor yang memiliki waktu hidup yang lebih lama, rapat daya dan kecepatan *charging-discharging* tinggi, dibandingkan dengan baterai. EDLC mampu menyimpan energi dengan jumlah yang besar serta memiliki umur pakai yang jauh lebih lama dari pada baterai. Material yang digunakan untuk pembuatan elektroda EDLC antara lain *Graphene*, *carbon nanotube*, *carbon aerogel*, karbon berpori, dan komposit mineral-karbon (Hu dkk., 2006; Zhu dkk., 2007; Stoller dkk., 2008; Simon dan Burke, 2008; Izadi Nakafabadi dkk., 2011). Karbon aktif dan *Graphene* telah terbukti mampu diaplikasikan sebagai EDLC. Keduanya memiliki luas permukaan spesifik besar sehingga cocok untuk proses adsorpsi dan desorpsi ion-ion elektrolit tanpa reaksi elektrokimia dan bahan ini adalah konduktif secara elektronik.

Pada penelitian adenkule tahun 2015, telah terbukti karbon aktif dari limbah pertanian memiliki kapasitansi spesifik sebesar 374 F/gram, Sedangkan untuk *Graphene*, Adhtiawan pada tahun 2014 mendapatkan nilai kapasitansi sebesar 190,01 F/gram. Pada penelitian yang dilakukan Zheng Chao Dkk dan Haniffudin tahun 2014 , ditemukan bahwa ketika material *Graphene* dan karbon aktif dikombinasikan menjadi suatu

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



komposit, maka akan menaikkan nilai kapasitansi dari superkapasitor. Penelitian Zheng Cao dengan metode aktivasi kimia dalam proses pencampurannya, menemukan komposit *Graphene*/karbon aktif memiliki nilai kapasitansi sebesar 210 F/gram, sedangkan haniffudin melakukan pencampuran dengan metode *stirring* mendapatkan nilai kapasitansi sebesar 485.23 F/g. Melihat nilai kapasitansi yang bagus ketika kedua material dikombinasikan menjadi komposit, oleh karena itu perlu adanya penelitian lanjutan tentang kombinasi *Graphene* dengan karbon aktif..

### 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang terdapat dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh penambahan karbon aktif terhadap sifat kapasitansi dari elektroda superkapasitor berbahan *Graphene*?
2. Bagaimana pengaruh jenis *current collector* terhadap sifat kapasitansi dari elektroda superkapasitor berbahan *Graphene*?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar diperoleh hasil akhir yang baik dan sesuai dengan yang diinginkan serta tidak menyimpang dari permasalahan yang ditinjau, maka batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukuran serbuk grafit dianggap sama.
2. Kecepatan *stirring* dianggap konstan.
3. Tekanan dari autoclave dianggap konstan.
4. Temperatur dan tekanan udara sekitar dianggap konstan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---

1. Menganalisa pengaruh variasi penambahan karbon aktif terhadap nilai kapasitansi dari elektroda superkapasitor berbahan *Graphene*.
2. Menganalisa pengaruh jenis *current collector* terhadap nilai kapasitansi dari elektroda superkapasitor berbahan *Graphene*.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan *Graphene* dengan ditambahkan karbon aktif yang mempunyai karakteristik tertentu sehingga bisa digunakan untuk aplikasi elektroda dan memilih elektroda yang sesuai pada Superkapasitor, serta bisa digunakan untuk rujukan terhadap penelitian-penelitian selanjutnya.

## **LAPORAN TUGAS AKHIR**

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kapasitor

Kapasitor merupakan perangkat elektronik yang dapat menyimpan dan memberikan energi. Kapasitor terbagi dalam dua grup dasar: kapasitor elektrolitik dan kapasitor elektrokimia. Kapasitor elektrolitik memiliki konstruksi 2 keping logam sejajar yang disisipi material dielektrik diantara keduanya. Material seperti lapisan plastik dan keramik digunakan sebagai dielektrik, dengan berbagai jenis logam yang digunakan sebagai elektroda.

Kapasitor elektrokimia menggunakan elektrolit yang dapat memunculkan lapisan dielektrik dan juga membentuk kutub katoda. Logam foil atau serbuk, seperti halnya aluminium dan tantalum, digunakan untuk membentuk kutub Anoda (KEMET Co. Ltd. 2010).

Kapasitansi sebanding dengan luas permukaan plat elektroda dan permitivitas dielektrik antar dua plat serta berbanding terbalik dengan jarak antar dua plat. Kapasitansi dalam kapasitor keping sejajar dapat ditulis sebagai berikut:

$$C=QV=I.tV=\epsilon A/d ; A \gg d^2 \quad (2.1)$$

C adalah kapasitansi (Farad), Q adalah muatan (Coulomb), V adalah potensial (Volt), i adalah arus (Ampere), t adalah waktu (detik),  $\epsilon$  adalah permitivitas dielektrik ( $Fm^{-1}$ ), A adalah luas permukaan konduktor atau plat ( $m^2$ ), dan d adalah ketebalan dielektrik atau jarak antara kedua plat (m).

Kapasitor elektrokimia adalah kapasitor jenis khusus yang bekerja berdasarkan *charging* (pemasukan muatan) dan *discharging* (pelepasan muatan) dari *interface* material-material yang mempunyai luas spesifik yang tinggi seperti material karbon yang berpori atau beberapa oksida logam yang berpori. Kapasitansinya 10000 kali lebih tinggi daripada kapasitansi



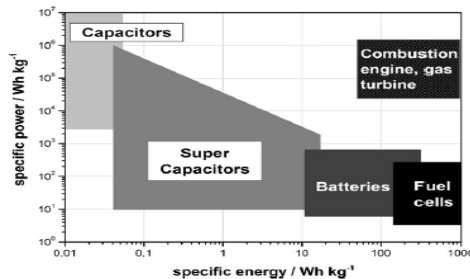
## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



kapasitor elektrolitik dengan dimensi yang sama. Oleh karenanya, kapasitor elektrokimia sering juga disebut “*superkapasitor*” atau “*ultracapasitor*” (Conway 1999).

Kapasitor elektrokimia (ECs) dibuat untuk menjembatani perbedaan kinerja kritis diantara kapasitor konvensional yang mempunyai densitas daya yang tinggi dengan baterai / sel bahan bakar yang mempunyai densitas energi yang tinggi, karena karakteristik uniknya yang mencakup wilayah yang luas pada densitas daya dan densitas energi. Kapasitor elektrokimia merupakan tipe perangkat yang berorientasi pada daya dengan efisiensi densitas energi yang tinggi dan siklus hidup yang lama.



**Gambar 2. 1** Plot Ragone untuk storage energy devices (Winter dan Brodd 2004)

Kapasitor elektrokimia telah mampu menarik banyak perhatian karena densitas dayanya yang lebih tinggi dan siklus hidupnya yang lebih panjang jika dibandingkan dengan baterai, dan densitas energinya yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kapasitor konvensional (elektrolitik). Gambar Plot Ragone menunjukkan posisi berbagai alat penyimpanan energi ditinjau dari energi spesifik dan daya spesifiknya seperti pada **Gambar 2.1**. Baterai seperti pada Li-ion baterai dapat mencapai energy density hingga  $180 \text{ Wh/kg}$  dengan power density yang rendah sampai  $1 \text{ kW/kg}$ .

Superkapasitor dapat memberikan power density yang tinggi ( $10 \text{ kW/kg}$ ) dengan energi tersimpan yang lebih rendah daripada baterai ( $5 \text{ Wh/kg}$ ) (Conway 1999). Karakteristik ini



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

terjadi karena perbedaan mekanisme penyimpanan energi pada masing-masing peralatan. Suatu *device* dikatakan sebagai superkapasitor bila memiliki minimum energy density sebesar 0.027 Wh/kg dengan minimum power density 10 W/kg (Winter dan Brodd 2004).

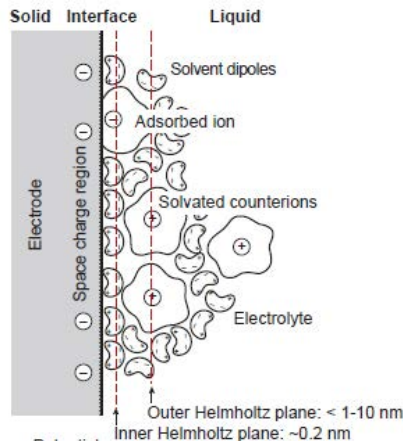
### 2.2 EDLC (Electrical Double Layer Capacitor)

Kapasitor elektrokimia secara umum dikategorikan kedalam tiga jenis berdasarkan mekanisme penyimpanan energinya : EDLC, *Pseudocapacitor*, dan *hybrid capacitor*. Masing-masing secara berurutan terjadi mekanisme non-Faradaik, Faradaik, atau kombinasi keduanya. Mekanisme Faradaik melibatkan transfer muatan antara elektroda dan elektrolit melalui reaksi oksidasi-reduksi. Sebaliknya, mekanisme non-Faradaik tidak melibatkan proses pemutusan ikatan kimia melainkan melalui distribusi muatan pada permukaan elektroda.

Penyimpanan muatan pada EDLC didasarkan pada pemanfaatan pemisahan muatan secara fisik antara ion-ion pada satu sisi elektroda dan muatan permukaan pada *interface solid-liquid* pada sisi lainnya, atau yang dikenal sebagai lapisan elektrokimia ganda. Lapisan ganda dapat dibentuk dengan memberikan tegangan pada elektroda yang terendam dalam larutan elektrolit. Tegangan yang diberikan akan menginduksi pemisahan muatan dan mendorong ion-ion dalam larutan elektrolit berdifusi melewati pemisah menuju elektroda. Di sekitar elektroda ion-ion tersebut akan mengalami penyusunan ulang akibat tertarik oleh muatan yang berbeda pada sisi solid elektroda. Oleh karena itu terbentuklah lapisan ganda yang terdiri atas dua lapis muatan paralel ion-ion pada *interface* elektroda-elektrolit dan ion-ion dengan muatan berlawanan pada sisi elektroda solid. **Gambar 2.2** menunjukkan contoh pembentukan lapisan ganda pada permukaan elektroda.

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 2. 2** Model pembentukan lapisan elektrokimia ganda  
(Kurzweil dkk. 2009)

Pemberian tegangan pada elektroda yang terendam dalam elektrolit juga menimbulkan mekanisme absorpsi dan desorpsi ion pada kedua layer elektroda karbon, yang berperan dalam pengisian dan pengosongan EDLC. Saat tegangan diberikan pada kedua elektroda yang berhadapan maka ion akan tertarik ke permukaan kedua elektroda dan terjadilah proses pengisian atau *charging*. Sebaliknya, ion akan bergerak menjauh saat EDLC digunakan atau *discharging* (Murata Manufacturing Co Ltd 2013). Proses *charging and discharging* dari EDLC dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, mekanisme kerja EDLC merupakan proses non-Faradaik yang tidak melibatkan transfer muatan antara elektroda dan elektrolit, sehingga tidak terjadi perubahan komposisi kimia. Untuk alasan inilah penyimpanan muatan EDLC memiliki tingkat reversibel dan stabilitas siklus yang tinggi.

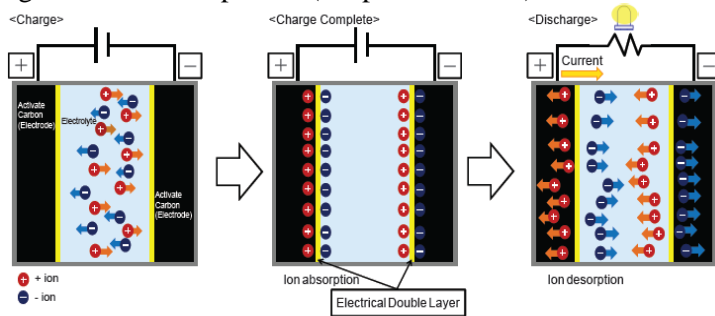
EDLC biasanya mampu beroperasi dengan karakteristik kinerja yang stabil untuk siklus *charge-discharge* tinggi mencapai



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

$10^6$  cycles. Sebaliknya baterai elektrokimia hanya mampu bekerja dengan siklus mencapai  $10^3$  (Halper dkk. 2006).



**Gambar 2. 3** Skema proses charging and discharging pada EDLC (Murata co Ltd, 2013)

Kinerja EDLC sangat bergantung pada jenis material elektroda (karbon) dan larutan elektrolitnya. EDLC menggunakan elektroda berbahan karbon karena mempunyai luas permukaan spesifik yang tinggi kira-kira  $10^3$  hingga  $2 \times 10^3 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ . Sedangkan larutan elektrolit berperan sebagai pensuplai ion melalui proses disosiasi. Disosiasi sendiri merupakan peristiwa terurainya suatu zat menjadi beberapa zat yang lebih sederhana. Pada EDLC misalnya, sebuah larutan elektrolit AB terdisosiasi menjadi komponennya  $A^-$  dan  $B^+$ . Hal tersebut dinamakan disosiasi elektrolit atau ionisasi dan reaksi ini juga merupakan reaksi reversibel atau berjalan bolak-balik karena ion-ion  $A^-$  dan  $B^+$  juga bisa kembali membentuk elektrolit AB seperti yang terlihat pada persamaan 2.2. Melalui proses seperti inilah ion-ion bermuatan listrik dapat dimanfaatkan pada sistem kerja EDLC.



Karbon aktif digunakan sebagai elektroda, karena (1) biaya rendah, (2) luas permukaan yang tinggi, (3) ketersediaan, dan (4) teknologi produksi mudah. Karbon aktif yang digunakan dalam bentuk padatan sedangkan larutan elektrolitnya dalam bentuk cair. Ketika bahan-bahan ini melakukan kontak antara satu

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---



dengan yang lainnya, maka kutub positif dan negatif didistribusikan relatif terhadap satu dan yang lainnya dengan jarak yang sangat dekat. Fenomena seperti ini dikenal dengan sebutan lapisan elektrokimia ganda.

Berbagai jenis EDLC telah beredar dipasaran, misalnya Rubycon, yang mempunyai kapasitansi mulai dari 1 – 30 F, Nesscap yang mempunyai kapasitansi 3-50 F, Murata yang mempunyai kapasitansi 0.47 F, sampai Dynacap yang mempunyai kapasitansi hingga 300 F.

Saat ini EDLC telah diaplikasikan pada berbagai bidang, termasuk pada peralatan *LED flash*, *audio circuit* dan *power amplifier*. Selain itu juga diaplikasikan dalam meteran listrik, Solid State Disk (SSD) atau harddisk portable, Uninterrupted Power Supply (UPS), dsb.

### 2.4 Karakteristik Superkasitor

Superkapasitor adalah piranti elektrokimia yang dapat menyimpan energi dan melepaskannya kembali dengan kekuatan daya yang tinggi dan densitas arus yang tinggi selama selang waktu yang pendek. Sehingga, kapasitor sangat diunggulkan sebagai pengganti untuk baterai dan fuel cell pada berbagai variasi aplikasi, misalnya mobil dan piranti elektronik portabel. Prinsip penyimpanan energi pada superkapasitor adalah akumulasi dari muatan elektrostatis pada elektroda- interface elektrolit (EDLC) atau transfer dari muatan ke dalam lapisan molekul yang mengalami reaksi redoks pada bagian permukaan dari elektroda (pseudokapasitor).

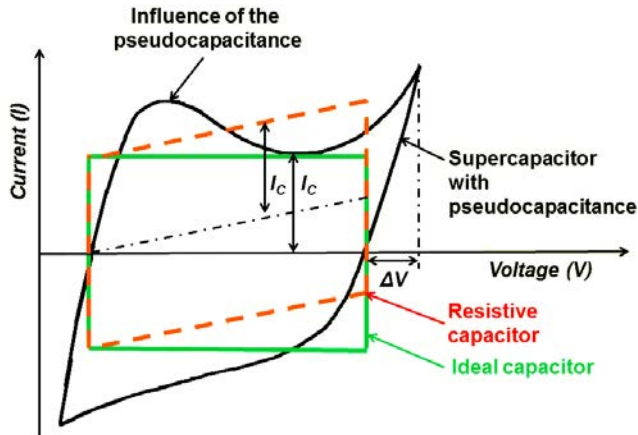
Berbagai tipe superkapasitor dapat dilihat dari jenis kurva *cyclic voltammogram* (CV) nya. **Gambar 2.4** menunjukkan berbagai tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa superkapasitor mempunyai beberapa tipe. Yang pertama adalah superkapasitor ideal (warna hijau). Superkapasitor ideal menunjukkan pola *charging* *discharging* yang sama, sehingga mempunyai bentuk yang



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

*rectangular*, atau persegi, yang menandakan bahwa *charging* *discharging* berlangsung dalam waktu yang sama.



**Gambar 2. 4** Tipe kurva CV dari berbagai jenis superkapasitor

Yang kedua adalah jenis kapasitor resistif (warna merah). Kapasitor jenis ini ditandai oleh bentuk kurva CV yang *rectangular*, namun miring keatas, yang menandakan adanya peningkatan *current density* seiring dengan pertambahan nilai voltase. Yang terakhir adalah jenis *pseudocapacitor* (warna hitam). Ciri khas dari jenis kapasitor ini adalah adanya *hump* (gundukan), yang menandakan terjadinya reaksi, baik oksidasi maupun reduksi. *Pseudocapacitor* biasanya mempunyai kapasitansi yang lebih tinggi, karena adanya efek reaksi redoks yang terjadi.

Superkapasitor EDLC sangat tergantung pada luas permukaan aktif dari material elektroda. Oleh karena itu, *Graphene* yang mempunyai luas permukaan aktif teoritik mencapai  $2500 \text{ m}^2/\text{g}$ , yang juga mempunyai sifat konduktivitas yang baik, mikrostruktur yang dapat dikontrol, dan stabilitas termal dan mekanik yang luar biasa, sangat menjanjikan sebagai

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



elektroda EDLC. Dengan menggunakan elektroda dari grafit oksida yang telah direduksi, Stoller dkk (2009), menemukan nilai kapasitansi mencapai 135 F/g dan 99 F/g pada larutan elektrolit organik.

### 2.4 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan padat berpori yang merupakan hasil pembakaran bahan yang mengandung karbon. Karbon aktif merupakan suatu bentuk arang yang telah melalui aktivasi dengan menggunakan gas  $\text{CO}_2$ , uap air atau bahan-bahan kimia sehingga pori-porinya terbuka dan dengan demikian daya absorpsinya menjadi lebih tinggi terhadap zat warna dan bau. Karbon aktif mengandung 5-15% persen air, 2-3 % abu dan sisanya terdiri dari karbon. Karbon yang sekarang banyak digunakan berbentuk butiran (granular) dan berbentuk bubuk (tepung).

Karbon yang berbentuk bubuk memerlukan waktu kontak lebih sebentar dibandingkan karbon berbentuk butiran, tetapi karbon berbentuk bubuk lebih sukar ditangani. Karbon berbentuk butiran dapat diaktifkan kembali untuk digunakan selanjutnya, yaitu dengan cara memanaskan di dalam pembakar (furnace) ganda. Karbon aktif dapat mengeluarkan bahan organik terlarut pada konsentrasi yang rendah pada air. Keduanya, baik itu karbon aktif granular (Granular Activated Carbon/GAC) maupun bubuk (Powdered Activated Carbon/PAC) diterapkan sebagai perkembangan dalam pengolahan limbah cair. Luas permukaan karbon aktif yang besar akan mengasimilasi bahan organik sedangkan mikroba mendegradasi untuk membuka kembali pori pada granular. Karenanya, bahan beracun pada limbah cair dapat dikurangi kapasitasnya.

Beberapa bahan yang dengan cepat dibiodegradasi sulit mengadsorp karbon, membuatnya sulit untuk memprediksi effluent dari limbah (Tri Widjaja dkk, 2009). Hampir semua bahan yang mengandung karbon tinggi dapat dijadikan karbon



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---

aktif. Bahan-bahan yang digunakan untuk karbon aktif biasanya memiliki nilai porositas tertentu dan luas permukaannya sekitar  $10\text{-}15\text{ m}^2/\text{g}$ . Namun saat diaktifasi luas permukaan tersebut dibuat lebih tinggi dengan mengontrol oksidasi atom-atom karbon yang biasanya menggunakan uap air dengan temperatur tinggi. Setelah proses aktifasi selesai luas permukaannya bisa mencapai  $700\text{-}1200\text{ m}^2/\text{g}$ . Luas permukaan yang tinggi harus diimbangi dengan tingginya fleksibilitas untuk dilewati zat cair ataupun gas. Karena fleksibilitas inilah yang akan menjadi kekuatan karbon aktif untuk dapat memiliki kemampuan daya serap yang tinggi.

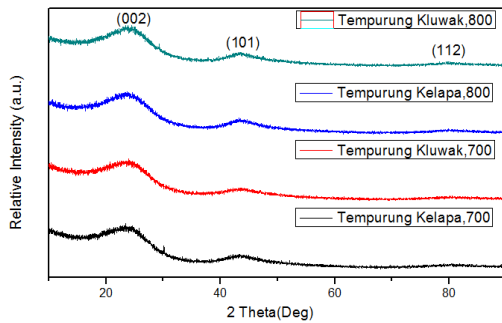
Morfologi dan struktur karbon aktif dapat dilihat pada **Gambar 2.5** dan **Gambar 2.6**. Dari pola grafik hasil XRD menunjukkan bahwa sampel karbon aktif memiliki struktur yang amorf karena pada pola grafik tidak terlihat puncak yang sangat tinggi serta terlihat hanya sedikit *noise*. Walaupun sampel karbon aktif merupakan material amorf tetapi juga terdapat beberapa puncak yang terlihat. Puncak yang terdapat pada grafik merupakan puncak dari Carbon (C) yang sudah membentuk kristal dengan struktur Hexagonal sesuai dengan kartu JCPDF 75-1621.

Pada hasil pengujian SEM dengan perbesaran  $10^4$  kali dapat dilihat keadaan dari pori-pori yang terdapat pada karbon aktif Tempurung Kluwak. Keadaan pori-pori pada semua karbon aktif yang didapat relatif sama namun terdapat kecenderungan pori-pori pada karbon aktif semakin kecil seiring dengan diberikan dan ditingkatkannya temperatur aktivasi fisiknya.

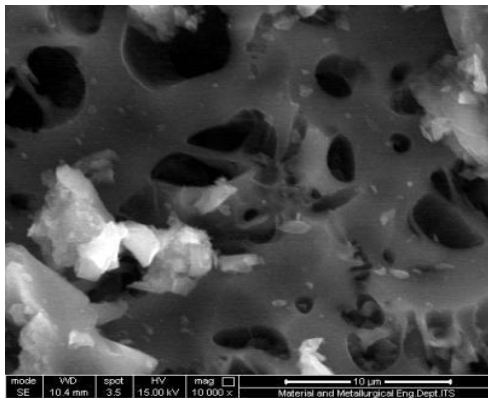


## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 2. 5** Hasil Uji XRD Karbon Aktif dari Tempurung kluwak dan Kelapa (Haniffudin,2012)



**Gambar 2. 6** Hasil Uji SEM Karbon Aktif dari Tempurung kluwak (Haniffudin,2011)

### 2.5 *Graphene*

*Graphene* adalah susunan atom karbon  $sp^2$  dalam kerangka heksagonal serupa sarang lebah yang membentuk satu lembaran dengan ketebalan satu atom. Penemuan *Graphene* secara eksperimental terjadi tahun 2004 oleh Novoselov dkk yang menggunakan *scotch tape* untuk proses fabrikasi. Setelah itu, banyak dilakukan penelitian baik untuk memodelkan berbagai

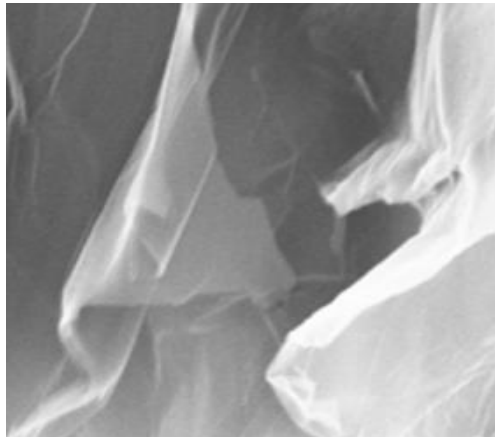


## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

sifat dari *Graphene* maupun untuk membuat dan memanfaatkannya. Hasil-hasil penelitian menyebutkan, *Graphene* dengan kualitas yang baik mempunyai densitas defect yang rendah dan bersifat seperti logam dengan mobilitas tinggi serta konstan. Pada tahun 2005, Novoselov dan Geim dari Universitas Manchester mengukur mobilitas pembawa muatan *Graphene* yang mencapai  $15,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  untuk *single layer Graphene* diatas silikon dioksida. Nilai ini tidak bergantung terhadap temperature

Sesuai dengan definisinya, *Graphene* merupakan satu lapis atom karbon dalam kisi heksagonal dengan ketebalan tidak lebih dari 1 nm. *Graphene* didapatkan dari pengelupasan struktur grafit oksida yang telah direduksi, sehingga hanya menyisakan beberapa layer yang sangat tipis (Mei, Meng, dan Wu 2015). Morfologi *Graphene* dapat dilihat pada **Gambar 2.7**. Pada Gambar tersebut tampak morfologi *Graphene* yang tipis dan berkerut-kerut. Ini menunjukkan bahwa grafit oksida tadinya mempunyai banyak layer, yang kemudian mengelupas satu-persatu. Daerah yang lebih tebal merupakan morfologi dari *few layer Graphene*.



**Gambar 2. 7** Hasil SEM *Graphene* (Mei, Meng, dan Wu 2015)

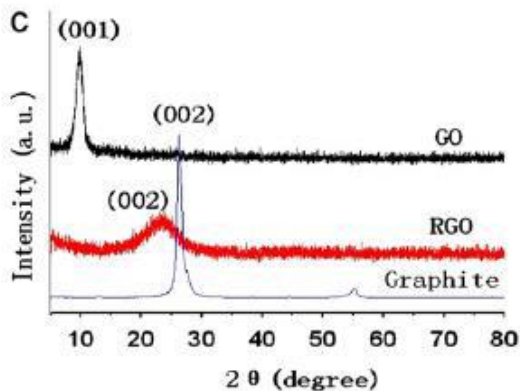
## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



Selain SEM, untuk menjelaskan struktur dari *Graphene* dapat pula dilakukan pengujian XRD. Dengan menggunakan XRD dapat diketahui perbedaan puncak dari raw material grafit, grafit oksida, dan *Graphene*. Perbedaan puncak ini mengindikasikan terjadinya perubahan struktur kristal. Grafit murni memiliki spektra pada  $2\theta = 26.7^\circ$  dari puncak difraksi (002) dengan jarak antar layer  $3.4 \text{ \AA}$ . Setelah proses oksidasi, perubahan besar terjadi dengan munculnya puncak difraksi (001) yang lebar pada rentang spektra  $9.8^\circ$ - $11.5^\circ$  yang merupakan grafit oksida. Jarak antar layer GO pada  $11.5^\circ$  setara dengan  $7.72 \text{ \AA}$ , yang lebih besar daripada grafit. Jarak antar layer yang membesar berhubungan dengan pembentukan gugus oksigen, *hydroxyl*, dan *carboxyl* (Wu dan Ting 2013).

Untuk *Graphene*, pola XRDnya menunjukkan puncak difraksi (002) yang lebar dengan spektra  $23.8^\circ$  dan jarak antar layer mendekati grafit. Perubahan puncak difraksi pada spektra ini menandakan GO telah tereduksi dengan baik, sehingga jarak antar layer mengecil (Ilhami dkk, 2014). Perbedaan kurva XRD antara grafit, grafit oksida, dan *Graphene* dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.

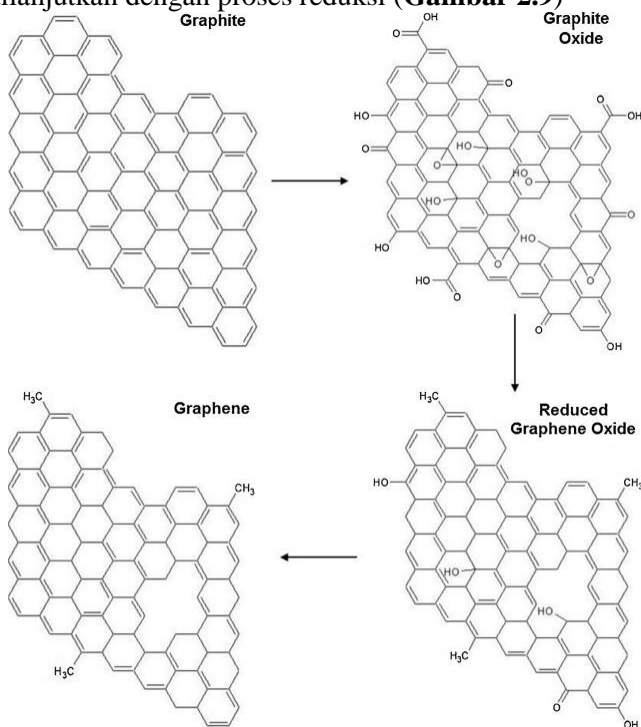


**Gambar 2. 8** Pola XRD pada grafit, grafit oksida, dan *Graphene*  
(Liu, Huang, dan Wang 2013)



## 2.6 Sintesis *Graphene*

Terdapat berbagai metode untuk mensintesis *Graphene*. Beberapa metode yang umum antara lain *micromechanical* dan *chemical exfoliation* dari grafit, reduksi GO, *epitaxial growth* di atas SiC, dan *chemical vapor deposition* (CVD). Diantara proses sintesis tersebut, metode reduksi GO merupakan metode yang disarankan untuk produksi *Graphene* secara masal. Metode reduksi GO secara umum dimulai dengan proses oksidasi grafit dan dilanjutkan dengan proses reduksi (**Gambar 2.9**)



**Gambar 2. 9** Oksidasi grafit menjadi grafit oksida dan reduksi grafit oksida menjadi *Graphene* (Mohan dkk. 2015)

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



### 2.6.1 Oksidasi grafit

Proses sintesis *Graphene* dimulai dengan mengoksidasi bahan dasar berupa grafit menjadi grafit oksida menggunakan agen pengoksidasi kuat. Compton dan Nguyen (2010). merangkum sejumlah proses oksidasi yang dilakukan oleh sejumlah peneliti, diantaranya Broudie (1859), Staudenmaier (1889), dan Hummers (1958) yang mengembangkan proses oksidasi grafit.

Oksidasi grafit pertama kali dilakukan oleh ahli kimia Inggris B.C Brodie (1859) yang menyelidiki struktur grafit dengan melakukan percobaan kereaktivannya. Reaksi percobaannya melibatkan penambahan  $\text{KClO}_3$  kedalam larutan campuran grafit dan  $\text{HNO}_3$ . 40 tahun kemudian, L. Staudenmaier memperbaiki percobaan Brodie dengan menambahkan asam sulfat untuk meningkatkan keasaman larutan. Perubahan ini mengakibatkan oksidasi lanjutan dari grafit dan mempercepat waktu reaksi oksidasinya. Setelah 60 tahun Hummers dan Offeman (1958) menemukan metode oksidasi alternative dengan mereaksikan grafit dengan larutan campuran potassium permanganate ( $\text{KMnO}_4$ ) dan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Hasilnya didapatkan perubahan pada oksidasi grafit dan waktu reaksi yang meningkat (Dreyer dkk. 2009). Endapan grafit oksida didapatkan dari perluasan grafit melalui metode Hummers menggunakan  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KMnO}_4$ , dan  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Produk hasil oksidasi dimurnikan melalui pencucian menggunakan larutan  $\text{HCl}$  10% dan pencucian berulan dengan air *deionized* (Wu dan Ting 2013).

Grafit dicampurkan dengan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada temperatur  $0^\circ\text{C}$ . Kemudian penambahan  $\text{KMnO}_4$  secara bertahap dalam keadaan *di-stirring* dan temperatur campuran dijaga di bawah  $10^\circ\text{C}$ . Reaksi dari campuran terus berlangsung selama 2 jam dengan temperatur di bawah  $10^\circ\text{C}$ . Selanjutnya campuran *di-stirring* di temperatur  $35^\circ\text{C}$  selama 1 jam, dan diencerkan dengan air *deionized* (DI). Penambahan air harus secara bertahap agar temperatur dapat dijaga di bawah  $100^\circ\text{C}$  karena penambahan air



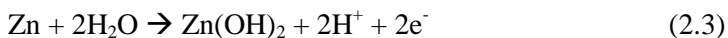
## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

ke dalam asam sulfat akan melepaskan sejumlah panas. Setelah itu ditambahkan  $\text{H}_2\text{O}_2$  30% untuk mengurangi sisa  $\text{KMnO}_4$ . Campuran tersebut akan melepaskan sejumlah besar gelembung dan campurannya akan berubah warna menjadi kuning cerah. Lalu campuran dicuci dengan  $\text{HCl}$  5% untuk menghilangkan ion-ion logam, dan diikuti pencucian dengan air DI untuk menghilangkan kandungan asam. Untuk memperoleh hasil yang berupa padatan maka campuran dikeringkan pada temperatur  $60^\circ\text{C}$  selama 24 jam (Wu dkk. 2009).

### 2.6.2 Reduksi grafit oksida

Grafit oksida memiliki struktur berlapis yang sama seperti grafit, namun bidang dari atom karbon pada grafit oksida dihiasi oleh kelompok gugus oksigen, yang tidak hanya memperlebar jarak antar *layer* tetapi juga membuat lapisan atom hidrofilik. Grafit oksida ini yang akan direduksi menjadi *Graphene* dengan menghilangkan gugus fungsi oksigen dan memperbaiki strukturnya. Seperti yang dilaporkan oleh Liu, Huang, dan Wang (2013) reduksi GO biasanya dilakukan dengan menggunakan agen pereduksi seperti hidrazine dan  $\text{NaBH}_4$ . Namun keduanya dikenal luas sebagai senyawa yang sangat beracun dan berbahaya, serta tidak stabil sebelum dilarutkan. Geng dkk (2012) melaporkan penggunaan Zinc sebagai reduktor yang lebih ramah lingkungan dalam kondisi asam. Dalam penelitiannya ia menyebutkan bahwa proses reduksi GO menggunakan serbuk Zn akan terjadi sesuai dengan persamaan 2.3 – 2.5.



### 2.6.3 Metode Hydrothermal

Prinsip dasar dari proses *hydrothermal* adalah menghasilkan reaksi heterogen dalam media pelarut cair dengan

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



kondisi temperatur dan tekanan tinggi untuk melarutkan dan merekritisasi material yang tidak bisa berlangsung pada kondisi normal. Untuk melakukan proses *hydrothermal*, diperlukan *autoclave* sebagai wadah sampel. Dalam penelitiannya, Zhou dkk (2009) menyatakan bahwa dengan metode *hydrothermaldehydration* yang mudah, bersih, dan terkontrol dapat mengubah *Graphene* oksida menjadi larutan *Graphene* yang stabil. *Supercritical water* (SC) yang digunakan dalam proses *hydrothermal* dapat menjadi agen pereduksi yang baik dan menjadi alternatif pelarut organik dalam *green* kimia. Dalam proses *hydrothermal*, SC mampu mereduksi gugus fungsi oksigen dari GO dan memperbaiki struktur aromatikanya.

Keunggulan proses *hydrothermal* dikemukakan oleh Ha, Muralidharan, dan Kim (2008) yaitu proses sintesis mudah, pengontrolan bentuk dan ukuran serbuk, temperatur operasi yang rendah, homogenisasi tinggi, dan biaya operasional rendah.

### 2.7 Current collector

Prinsip dasar untuk mencapai kemampuan daya tinggi dari elektroda adalah meminimalkan resistensi keseluruhan sistem elektrokimia. Untuk baterai Li-ion, resistensi difusi ion dan ketahanan elektronik yang terkait dengan elektroda bahan aktif telah menjadi perhatian utama di masa lalu. Dalam kasus elektroda karbon aktif, ada tiga sumber utama resistensi, yang pertama adalah resistensi ionik terkait dengan difusi ion elektrolit dalam pori-pori partikel *current collector*, kedua adalah resistensi elektronik dalam lapisan aktif atau material yang didepositkan dan ketiga adalah resistensi elektronik antar permukaan antara *current collector* dan material yang didepositkan.

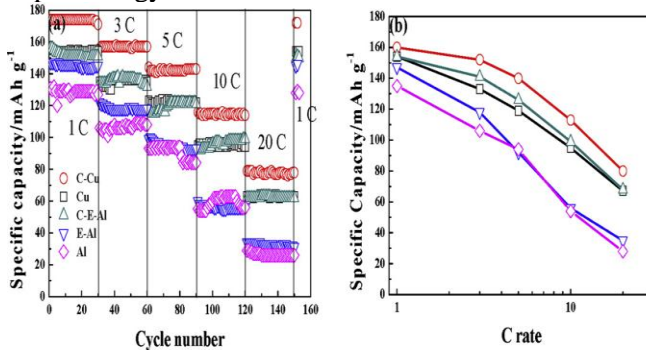
Salah satu cara untuk menimalkan resistensi keseluruhan system elektrokimia adalah pemilihan *current collector* yang tepat, agar arus bisa mengalir ke seluruh material penyimpan energy (Hsien-Chang Wu, 2011). Pada penelitian Hsien-Chang Wu dkk telah dicoba 5 jenis *current collector* yang berbeda, pada



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

gambar 2.d nampak bahwa pengaruh penggunaan *current collector* terhadap kapasitansi spesifik suatu material penyimpan energy. Penggunaan *current collector* yang tepat terbukti akan menaikkan nilai kapasitansi suatu material penyimpan energy.



**Gambar 2. 10** Karakteristik Elektrokimia untuk *current collector* yang berbeda. (a) Kapasitansi spesifik vs. siklus; (b) Kapasitansi spesifik vs. laju arus

## 2.8 Penelitian-penelitian yang telah dilakukan

Beberapa penelitian yang telah dilakukan dan nilai kapasitansi dari superkapasitor *Graphene* dengan beberapa jenis metode yang digunakan dalam pembuatan *Graphene* dan aplikasinya dalam superkapasitor

**Tabel 2. 1** Perbandingan nilai kapasitansi dari superkapasitor *Graphene*

Material	Perlakuan	Kapasitan si Spesifik (F/g)	Peneliti
<i>Graphene</i>	Deposit pada nickel foam	125,87	Hanung dkk (2015)
<i>Graphene</i>	Ultrasonika	190.01	Adhtiawan,



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



	si dan hidrotermal		dkk (2014)
<i>Graphene</i>	Massa Zink	90.623	Suwandana, dkk (2014)
<i>Graphene</i>	Ultrasonikasi dan hidrotermal	491.36	Nurdiansayah, dkk (2014)
Karbon Aktif dari bahan tempurung kelapa dan kluwak	Temperatur karbonisasi dan temperatur aktivasi fisika	0,844	Nurdiansayah, dkk (2014)
Komposit porous <i>Graphene</i> /Karbon aktif	-	210	Zheng Chao dkk (2015)
Karbon aktif dari bahan limbah kulit singkong	Modifikasi permukaan dengan $\text{HNO}_3$	264.08	Ismanto Evan dkk (2010)
Karbon aktif dari tongkol jagung	Variasi massa dan Elektrolit	401.6	Dabin Wang dkk (2015)

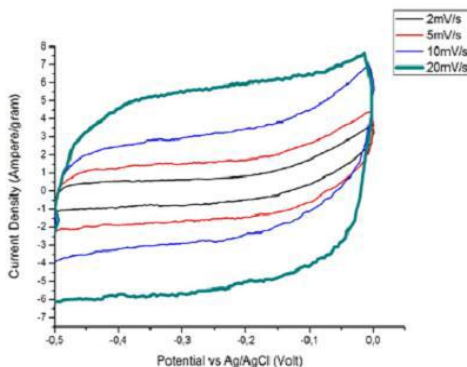
Pada tahun 2014, Nurdiansah dkk melakukan sintesis *Graphene* dengan metode Hummer yang diikuti dengan proses reduksi oleh serbuk Zn dan proses hidrotermal. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu ultrasonifikasi dan temperatur hidrotermal terhadap nilai kapasitansi elektroda EDLC. Variasi waktu ultrasonifikasi yang digunakan adalah 90 menit, 120 menit, dan 150 menit, sementara temperatur hidrotermalnya 160° C, 180° C, dan 200° C. Dari uji CV didapatkan nilai kapasitansi tertinggi pada variasi temperatur



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

160° C dan waktu ultrasonifikasi 1,5 jam dengan nilai kapasitansi 491,36 F/g seperti yang terlihat pada **Gambar 2.10**



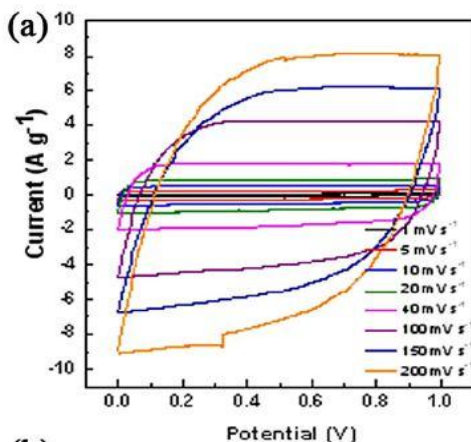
**Gambar 2. 11** Bentuk kurva CV sampel 160o C ultrasonikasi 1,5 jam dalam larutan Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M pada rentang potensial window 0 – (-0,5) V.

Dengan nilai kapasitansi yang cukup besar dari penelitian ini dapat diketahui bahwa *Graphene* sangat potensial untuk menjadi Electric Double Layer Capacitor dan juga diketahui bahwa penurunan nilai kapasitansi sebanding dengan kenaikan temperature hydrothermal dan waktu ultrasonikasi.

Kemudian pada tahun 2015, Zheng Cao dkk melakukan sintesis komposit *Graphene*/Karbon aktif dengan serbuk *Graphene* oxide yang diikuti dengan proses reduksi dengan metode hydrothermal kemudian dicampur dengan karbon aktif lewat media KOH. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari komposit *Graphene*/Karbon aktif sebagai superkapasitor. Dari uji CV didapatkan nilai kapasitansi 210 F/g jika menggunakan elektrolit *aqueous* seperti yang terlihat pada **Gambar 2.11**

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 2. 12** Bentuk kurva CV sampel dalam larutan KOH 6 M pada rentang potensial window 0 – 1 V

## **BAB III**

### **METODELOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Bahan**

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Serbuk grafit dengan ukuran 150  $\mu\text{m}$  (purity 99%)
2. Air suling / aquades ( $\text{H}_2\text{O}$ )
3. Asam sulfat 98% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
4. Es
5. Natrium nitrat ( $\text{NaNO}_3$ )
6. Potassium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ )
7. Hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )
8. Asam klorida 35% ( $\text{HCl}$ )
9. Barium klorida ( $\text{BaCl}_2$ )
10. Serbuk Zn
11. Nikel foam
12. Carbon Cloth
12. Natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )
13. Karbon aktif

#### **3.2 Alat**

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini:

1. Neraca Analitik (Mettler Toledo)

Alat ini digunakan untuk mengukur massa serbuk grafit,  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ , grafit oksida,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , serbuk Zn, *Nickel Foam*, *Carbon Cloth* dan karbon aktif

2. pipet

Pipet yang digunakan adalah pipet standar untuk mengambil larutan.

3. Pengaduk (Spatula)

Digunakan untuk mengaduk larutan.

4. Hot Plate with Magnetic Stirrer

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*

---



Alat ini digunakan untuk mencampur dan mengaduk larutan agar homogen serta untuk proses *drying Graphene* dari hasil proses *hydrothermal*.

### 5. Furnace (*Thermolyne*)

Digunakan untuk proses pembuatan GO dan *Graphene*.

### 6. Instrumen Karakterisasi Material

*X-ray diffraction* (XRD) untuk mengetahui senyawa yang terkandung dalam suatu sampel dan struktur kristalnya, *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk menganalisis morfologi dan ukuran partikel, *Four Point Probe Test* (FPP) untuk mengukur konduktivitas listrik dari sampel *Graphene*, Uji *Cyclic Voltammetry* (CV) untuk mengetahui nilai kapasitansi elektroda superkapasitor berbahan *Graphene*.

### 7. Autoclave

Digunakan untuk proses *hydrothermal*.

### 8. Erlenmeyer

Digunakan sebagai tempat larutan.

### 9. Ice bath

Digunakan untuk tempat peletakan es selama pembuatan grafit oksida.

### 10. Centrifuge

Digunakan untuk memisahkan partikel terdispersi.

### 11. Ultrasonic Cleaner

Digunakan untuk homogenisasi dan pengelupasan lembaran *graphite oxide* menjadi *Graphene oxide*.

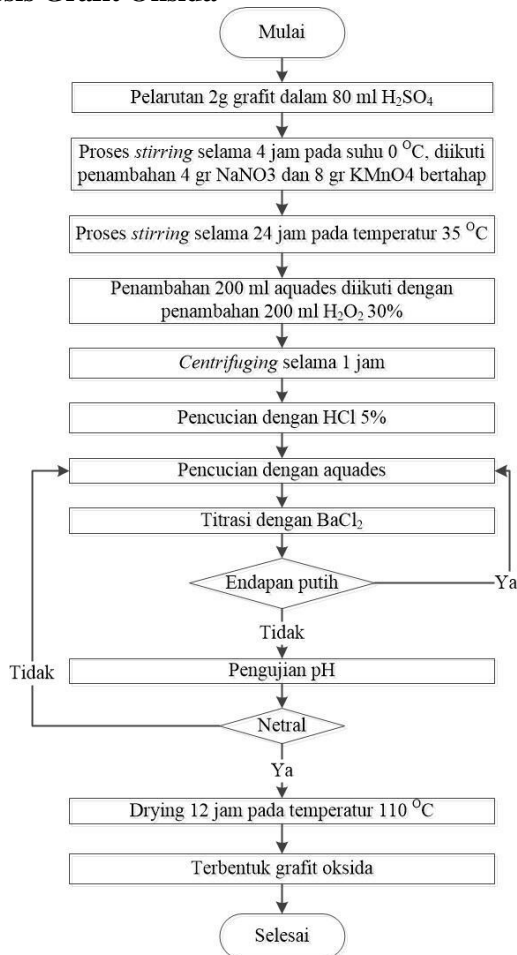
### 12. Gelas Beaker

Digunakan untuk tempat aktivitas kimia.



### 3.3 Diagram Alir Penelitian

#### 3.3.1 Sintesis Grafit Oksida



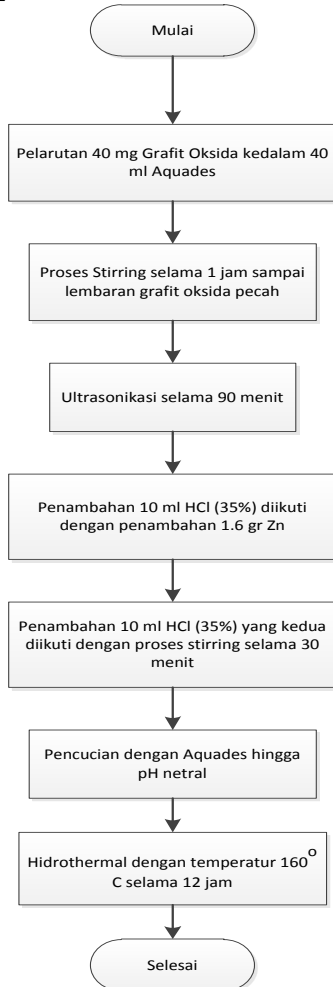
**Gambar 3. 1** Diagram alir sintesis grafit oksida

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



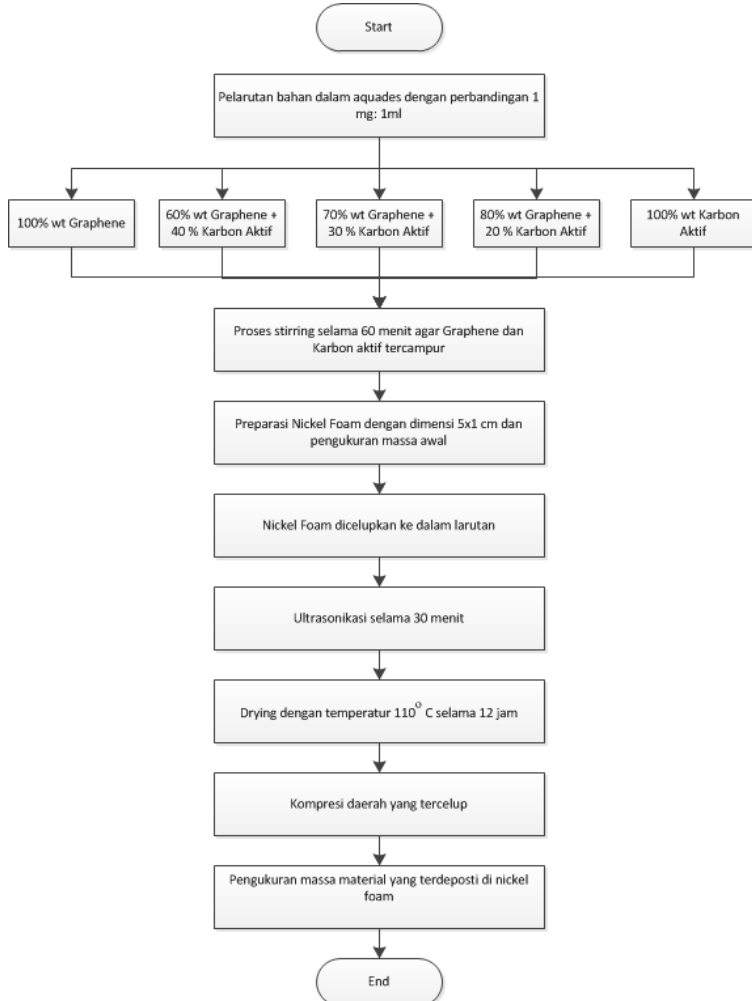
### 3.3.2 Sintesis *Graphene*



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Sintesis *Graphene*



### 3.3.3. Pembuatan Elektroda Nickel Foam



**Gambar 3. 3** Diagram alir pembuatan Elektroda Nickel Foam

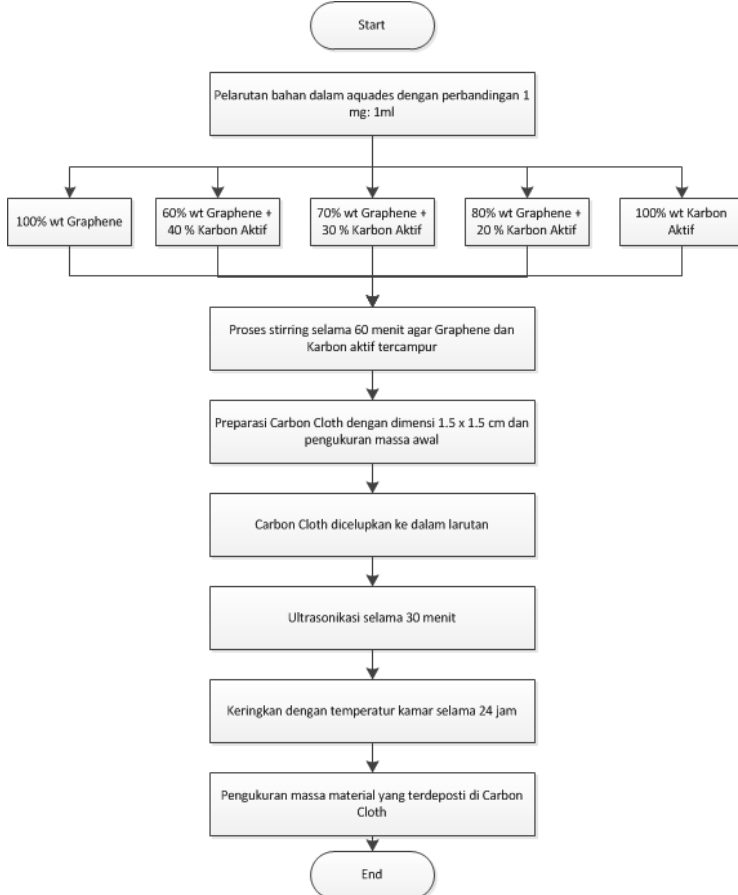


## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



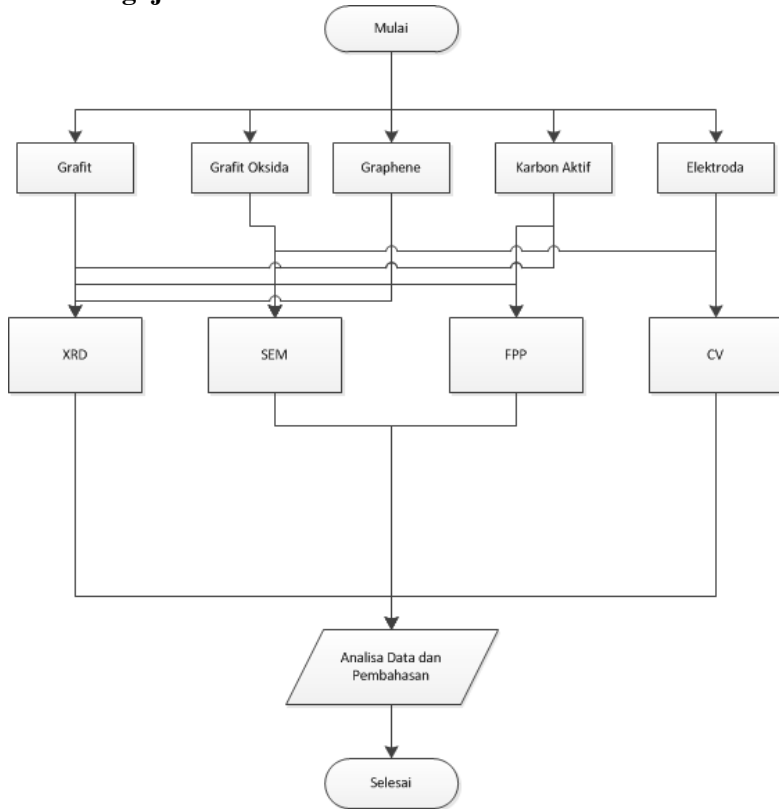
### 3.3.3. Pembuatan Elektroda Carbon Cloth



**Gambar 3. 4** Diagram alir pembuatan Elektroda Carbon Cloth



### 3.3.4 Pengujian



**Gambar 3. 5** Diagram alir pengujian

### 3.4 Metode Penelitian

Proses pembuatan elektroda berbahan *Graphene* ini dilakukan melalui dua tahap proses, yaitu proses sintesis *Graphene* menggunakan metode Hummer yang telah dimodifikasi dan proses pendepositan *Graphene* pada nickel foam dan membentuk elektroda.

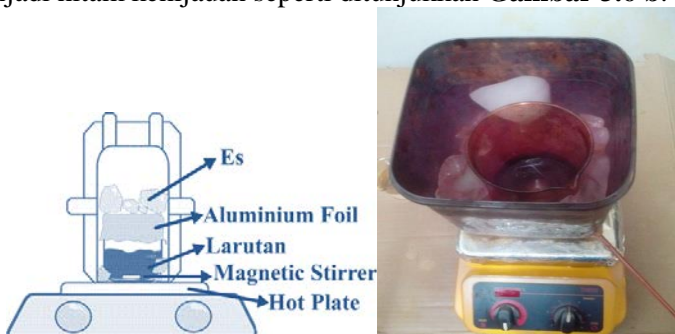
## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*



### 3.4.1. Sintesis Grafit Oksida

Grafit oksida merupakan bahan utama pembuatan *Graphene* yang dibuat dari oksidasi grafit dalam larutan asam. Bahan yang digunakan dalam proses oksidasi adalah serbuk grafit,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaNO}_3$ , dan  $\text{KMnO}_4$ . Proses sintesis diawali dengan men-*stirring* 2 g serbuk grafit di dalam 80 ml larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% pada temperatur *icebath* (approx  $5^\circ\text{C}$ ) selama 4 jam. Saat proses *stirring* telah berjalan selama 2 jam dilakukan penambahan 4 g  $\text{NaNO}_3$  dan 8 g  $\text{KMnO}_4$  secara bertahap dan bergantian kedalam larutan. Penambahan potasium permanganat ( $\text{KMnO}_4$ ) menyebabkan perubahan warna larutan dari hitam pekat menjadi hitam kehijauan seperti ditunjukkan **Gambar 3.6 b**.



**Gambar 3. 6 (a)** Proses stirring pada temperatur *icebath* (approx  $5^\circ\text{C}$ ) **(b)** kondisi larutan setelah penambahan  $\text{NaNO}_3$  dan  $\text{KMnO}_4$

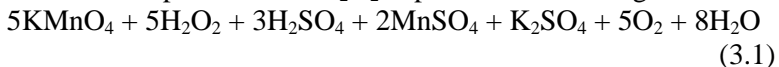
Larutan kemudian dikeluarkan dari *icebath* dan dilanjutkan *stirring* pada temperatur  $35^\circ\text{C}$  selama 20 jam. Setelah *stirring* selama 20 jam, ditambahkan 200 ml aquades kedalam larutan secara bertahap, karena penambahan aquades dalam larutan asam diikuti dengan pelepasan kalor. Proses dilanjutkan dengan men-*stirring* larutan selama 1 jam agar larutan menjadi homogen. Setelah 1 jam ditambahkan 20 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  untuk menghilangkan kandungan  $\text{KMnO}_4$  sisa dalam larutan.



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

Penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  membuat larutan menjadi berwarna kuning cerah. Reaksi penambahan  $\text{H}_2\text{O}_2$  dapat dituliskan sebagai berikut.



Larutan kemudian dibiarkan dalam keadaan ter-*stirring* selama 30 menit. Selanjutnya dilakukan proses sentrifugasi larutan kuning tersebut sehingga terpisah antara cairan dan padatannya. Dari proses sentrifugasi diambil padatan berwarna kuning, sedangkan cairan dan padatan berwarna putih tidak digunakan. Selanjutnya dilakukan pencucian menggunakan HCl 5% (0.01 M) untuk menghilangkan ion-ion logam yang tersisa. Proses pencucian selanjutnya menggunakan aquades secara berkala untuk menetralkan pH sehingga dihasilkan larutan seperti pada **Gambar 3.6 a**. Untuk menguji apakah ion sulfat telah hilang dan pH netral dilakukan titrasi dengan  $\text{BaCl}_2$  1M. Apabila pH telah netral dan tidak terdapat endapan saat titrasi  $\text{BaCl}_2$  maka dilanjutkan proses *drying* pada temperatur  $110^\circ\text{C}$  selama 12 jam untuk memperoleh grafit oksida.

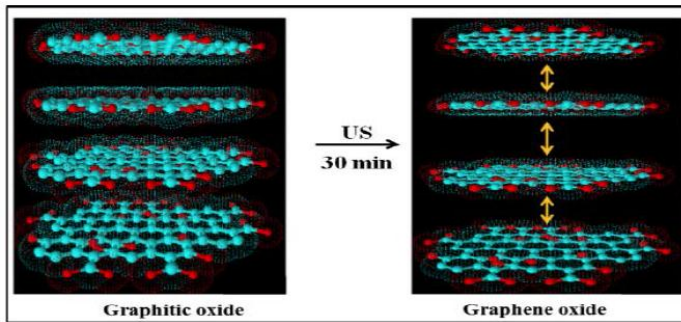
### 3.4.2. Sintesis *Graphene*

*Graphene* disintesis dengan cara mereduksi grafit oksida menjadi *Graphene* oksida, kemudian dilanjutkan dengan mereduksi *Graphene* oksida menjadi *Graphene* (*Reduced GrapheneOxide/rGO*). Pembuatan *Graphene* oksida dimulai dengan cara melarutkan 40 mg grafit oksida ke dalam 40 ml aquades, kemudian di *stirring* sampai larutan menjadi homogen..

Setelah itu, dilakukan proses ultrasonikasi dengan waktu ultrasonikasi 90 menit. Mekanisme ultrasonikasi ini dapat di ilustrasikan pada **Gambar 3.7**

## LAPORAN TUGAS AKHIR

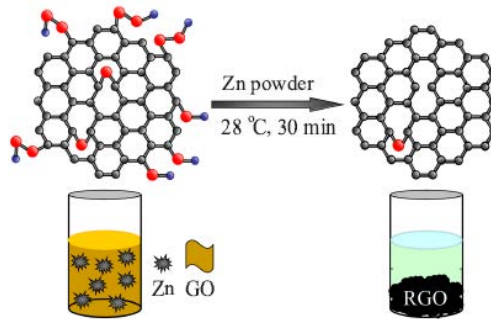
Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



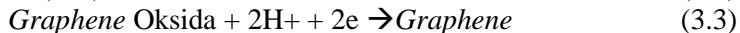
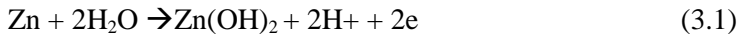
**Gambar 3. 7** Mekanisme terbentuknya *Graphene* oksida dari grafit oksida melalui proses ultrasonikasi (Konios, dkk, 2014)

Setelah proses ultrasonikasi, maka terbentuk endapan hitam yang disebut *Graphene* oksida. Selanjutnya, *Graphene* oksida di reduksi dengan menggunakan serbuk *Zinc* untuk memperoleh *Graphene* yang murni. Proses ini dilakukan dengan menambahkan 10 ml HCl (35%) ke dalam larutan *Graphene* oksida, dalam kondisi *non-stirring*.

Kemudian dilanjutkan dengan penambahan serbuk Zn sebesar 1.6 gram. Ketika penambahan Zn, akan terbentuk ledakan-ledakan kecil gelembung pada permukaan larutan di sertai dengan peningkatan temperatur. Akan nampak terlihat pada endapan keluar gelembung yang konstan, yang menandakan terjadinya peristiwa reduksi. Endapan semakin lama akan bergerak mengumpul pada permukaan atas larutan. Kita harus membiarkan peristiwa ini sampai selesai, ditandai dengan tak ada lagi gelembung yang keluar dari endapan, dan seluruh endapan telah naik ke permukaan larutan. Reaksi yang terjadi pada saat penambahan Zn dapat digambarkan sebagai berikut (**Gambar 3.8**). Reaksi kimia yang terjadi ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.



**Gambar 3. 8** Skema reaksi reduksi *Graphene* oksida menjadi *Graphene/rGO*



Dilakukan proses *stirring* 30 menit untuk homogenisasi larutan. Setelah itu, dilakukan penambahan HCl (35%) untuk kedua kalinya, sebanyak 10 ml. Proses penambahan ini bertujuan untuk menghilangkan sisa Zn yang masih ada di larutan. Hasilnya berupa endapan hitam.

Selanjutnya adalah proses pencucian dimana pencucian pertama menggunakan HCl 5%, dengan tujuan untuk menghilangkan sisa ion logam. Kemudian dilanjutkan pencucian dengan menggunakan aquades beberapa kali. Setelah didapatkan pH netral (mendekati 7), endapan dimasukkan *autoclave* untuk dilakukan proses hidrotermaldi dalam *muffle furnace* dengan temperatur 160 °C selama 12 jam.

Hasil dari proses hidrotermal adalah berupa lembaran ataupun serbuk *Graphene* berwarna hitam, yang tidak terlalu mengkilat apabila dibandingkan dengan lembaran grafit oksida.

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



### 3.4.3 Penambahan karbon aktif dan pembuatan Elektroda

Penambahan karbon aktif kedalam *Graphene* dilakukan dengan metode stirring, terdapat 3 variasi komposisi penambahan karbon aktif, yaitu 20%wt, 30%wt dan 40%wt sesuai dengan **Tabel 3.1**. *Graphene* dan karbon aktif ditimbang sesuai dengan perbandingan yang telah disebutkan lalu ditambah aquades dengan perbandingan 10 mg : 1ml. Kemudian diaduk menggunakan mesin stirer dengan kecepatan 300 rpm selama 1 jam sampai terlihat larutan telah berwarna hitam dan serbuk *Graphene* dan karbon aktif telah hancur. Kemudian larutan yang telah berisi *Graphene* dan karbon aktif sesudah dengan perbandingan yang ada, digunakan untuk mendepositkan ke dalam elektroda dengan menggunakan ultrasonikasi selama 30 menit.

**Tabel 3. 1** Komposisi bahan elektroda

Sampel	Massa <i>Graphene</i> (gr)	Massa Karbon Aktif (gr)
<i>Graphene</i>	0.02	-
Karbon Aktif	-	0.02
<i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20%wt	0.02	0.005
<i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 30%wt	0.02	0.00857
<i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40%wt	0.02	0.013

Elektroda untuk pengujian CV menggunakan 2 jenis material yang berbeda, yaitu *nickel foam* dan *carbon cloth*. Nickel



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

foam dibuat dengan cara memotong nickel foam berukuran 5 x 1 cm lalu ditimbang untuk mengetahui massa nickel foam. Kemudian mencelupkan nickel foam ukuran 5 x 1 cm di dalam larutan yang terdapat *Graphene* dan Karbon aktif yang telah dibuat. Sedangkan *Carbon Cloth* dibuat dengan dimesi 1.5 cm x 1.5 cm dengan bingkai menggunakan double tape, agar benang-benang *Carbon Cloth* tidak rusak ketika proses ultrasonikasi, kemudian mencelupkannya ke dalam larutan yang terdapat *Graphene* dan karbon aktif yang telah dibuat.

Baik *Nickel Foam* dan *Graphene* setelah proses ultrasonikasi mengalami proses pengeringan, bedanya *Nickel Foam* dikeringkan dengan proses drying di dalam *muffle furnace* pada  $T=1100^{\circ}\text{C}$  selama 12 jam. Setelah kering, spesimen di *press*. Nickel foam lalu ditimbang sekali lagi untuk mengetahui massa *Graphene* yang terdeposit kedalam pori-pori nickel foam. Sedangkan *Carbon Cloth* dikeringkan dengan dijemur di temperatur kamar selama 24 jam. Elektroda yang sudah siap seperti ditunjukkan pada **gambar 3.9** kemudian digunakan untuk pengujian *Cyclic Voltammetry* (CV) dengan larutan elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .



**Gambar 3. 9** Sampel elektroda yang telah dibuat, (a) Carbon Cloth, (b) Nickel Foam



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*

---



### 3.5 Pengujian

Pada penelitian ini, kebenaran dari teori dibuktikan dengan data. Adapun data pada penelitian ini diperoleh dari pengujian- pengujian sebagai berikut:

#### 3.5.1 Scanning Electron Microscopy (SEM)

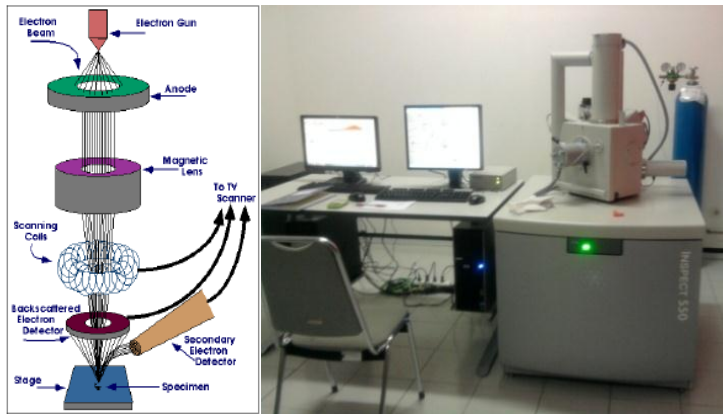
Mikroskop elektron merupakan mikroskop yang memanfaatkan pancaran elektron berenergi tinggi untuk memeriksa objek dalam skala yang sangat kecil. Pengamatan ini memberikan informasi mengenai topografi (jenis permukaan objek), morfologi (bentuk dan ukuran partikel), komposisi (unsur dan senyawa beserta jumlah relarif masing-masing) menggunakan EDS (*Energy Disspersive X-Ray analysis*).

Untuk menghasilkan gambar pancaran elektron dari *electron gun* difokuskan pada *fine probe* yang di *scan* melintasi permukaan spesimen. Pancaran diperkuat dengan adanya koil. Setiap titik spesimen yang ditumbuk elektron membentuk radiasi elektromagnetik. Pancaran elektron yang mengenai permukaan sampel akan dihamburkan dan ditangkap oleh *Back Scatter electron detector (BSE)* dan *secondary electron detector*. Kemudian hasilnya diterjemahkan dalam bentuk gambar pada display. Dengan adanya BSE maka gambar hasil SEM akan memiliki gradasi warna, bagian berwarna terang tersusun atas material ringan dan bagian yang agak gelap adalah material berat. Mekanisme kerja dan Bentuk Instrumen SEM diperlihatkan pada **Gambar 3.10**



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 3. 10** (a) Skema kerja SEM (b) Scanning Electron Microscopy (SEM) Inspect S50

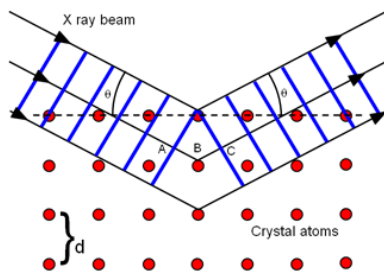
Berbagai macam sampel dapat diamati menggunakan SEM, misalnya logam, keramik, plastik, debu, mineral, tulang dan sebagainya. Sampel yang digunakan merupakan material bersifat konduktif, apabila tidak konduktif maka harus dikonduktifkan dengan *carbon tape*. Kualitas gambar yang dihasilkan memiliki perbesaran 100.000 kali. Dengan kata lain, resolusi SEM saat ini mencapai 1.5 nm pada 30 kV.

### 3.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (Philips Analytical) pada **Gambar 3.12 (a)** merupakan analisis teknik untuk mengamati hamburan sinar-x dari material kristalin. Setiap material menghasilkan karakteristik sinar-x tertentu. Intensitas sinar dan besar sudut hamburan menggambarkan struktur atom kristalin. Untuk mengetahui struktur kristal yang sesuai, data dan grafik hasil pengujian XRD dicocokkan dengan menggunakan JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standard*).

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 3. 11** (a) Instrumen XRD PANalytical (b) Pola Difraksi Sinar-x

Generator tegangan tinggi pada bagian *x-ray tube* berfungsi sebagai pembangkit daya penghasil sinar-x. Sinar-x diarahkan menuju permukaan sampel. Setiap material memiliki susunan atom yang teratur sesuai konfigurasinya. Ketika Sinar-x menumbuk sampel, elektron pada kulit terluar akan tereksitasi dan menyebabkan elektron yang hilang akan menempati daerah yang mempunyai tingkat energi lebih tinggi selama transisi dan pancaran radiasi sinar-X terjadi. Sinar-x tersebut akan dihamburkan dan ditangkap oleh *detector* yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk kurva yang menggambarkan peak intensitas sinar-x pada sudut tertentu seperti **Gambar 3.12 (b)**. Kondisi refleksi sinar-x dirumuskan dengan persamaan 3.1

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.4)$$



Karakterisasi material menggunakan XRD menghasilkan beberapa data baik data kualitatif maupun data kuantitatif seperti pada **Tabel 3.1**

**Tabel 3. 2** Informasi yang terkandung dalam karakter tinggi, posisi serta lebar dan bentuk puncak difraksi (Pratapa, 2004)

No	Karakter	Informasi dari material
1	Posisi puncak ( $2\theta$ )	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fasa kristal/identifikasi</li><li>• Struktur kristal</li><li>• Parameter kisi</li><li>• Regangan seragam</li></ul>
2	Tinggi puncak (intensitas)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Identifikasi</li><li>• Komposisi</li><li>• Hamburan tak koheren</li><li>• <i>Extinction</i></li><li>• <i>Preferred-orientation</i></li></ul>
3	Lebar dan bentuk puncak	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ukuran kristal (bukan partikel atau <i>grain</i>)</li><li>• Distribusi ukuran</li></ul>

### 3.5.3 Cyclic Voltametry

CV test adalah digunakan untuk mengetahui nilai kapasitansi dari elektroda *nickel foam-Graphene*, carbon cloth-*Graphene*, nickel foam-karbon aktif, Carbon Cloth-karbon aktif, Nickel foam-*Graphene*/karbon aktif dengan variasi tertentu dan Carbon Cloth-*Graphene*/karbon aktif dengan variasi tertentu . Elektroda untuk pengujian ini dengan mendepositkan material yang diinginkan ke dalam *nickel foam*/carbon cloth. Variasi penambahan karbon aktif dalam *Graphene* yang didepositkan dalam *nickel foam* atau Carbon cloth adalah 20 %wt, 30 %wt, 40 %wt. Larutan yang digunakan untuk pengujian elektroda adalah  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  1M. *Potential window* yang digunakan dalam pengujian

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



CV ini yaitu 0-0,8 V. Hal ini dilakukan karena menyesuaikan rentang potensial kerja kapasitor. Instrumen yang digunakan adalah AUTOLAB PG STAT 302 METHROM (Netherland), dengan *Counter Electrode* adalah platina.

Prinsip kerja voltametri adalah dengan memberikan sejumlah beda potensial sehingga akan terukur besar sesuai dengan polarografi dari sampel elektroda yang digunakan. Dalam CV, nilai kapasitansi juga dipengaruhi oleh reaksi redoks. Reaksi ini terjadi karena sampel bereaksi dengan elektrolit yang kuat sehingga nilai kapasitansi yang terbaca, tidak murni milik sampel. Untuk itu perlu menggunakan sampel dan elektrolit yang tepat jika ingin menghindarkan redoks pada sampel.

Konsep hubungan antara pengujian ini dengan penyimpanan muatan pada sampel adalah saat alat memberikan sejumlah potensial, maka sejumlah muatan akan menempel pada permukaan aktif elektroda kerja. Dari sejumlah muatan yang menempel tersebut, akan terbaca berapa besar arus yang mengalir dengan kondisi beda potensial yang berbeda. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini yaitu grafik *cyclic voltammetry*. Untuk menghitung besarnya kapasitansi spesifik digunakan persamaan di bawah ini. Di samping itu, hasil dar CV juga menggambarkan sifat kapasitif elektrokimia dari elektroda kerjanya.

$$C = \frac{\int i \, dV}{2 w \gamma \Delta E} \quad (3.5)$$

Dimana :

C : Kapasitansi spesifik (Farad/gr)

I : Arus (Ampere)

w : Massa Elektroda Grafena (gr)

$\gamma$  : Scan Rate (mV/s)

$\Delta E$  : Potential Window (Volt)



Dari hasil pengujian CV juga dapat diketahui nilai Densitas Energi (E) dan Densitas Power (P) dengan menggunakan rumus di bawah ini.

$$E = 0,5 \times C \times (\Delta V)^2 \quad (3.6)$$

$$P = \frac{E}{t} \quad (3.7)$$

Dimana :

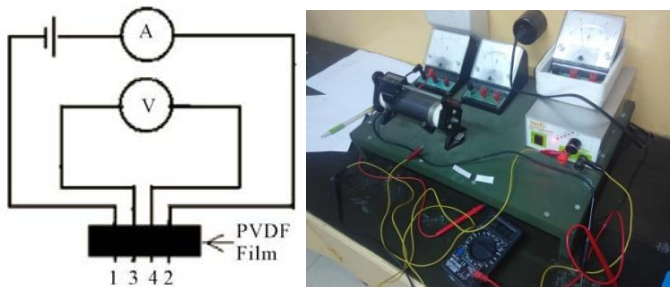
- E : Densitas Energi (Wh/kg)
- C : Kapasitansi (Farad/gr)
- ( $\Delta V$ ) : Potential Window (Volt)
- P : Densitas Power (W/kg)
- t : Waktu discharge (sekon)

#### **3.5.4 Four Point Probe (FPP)**

Four point probe (FPP) test adalah salah satu bentuk pengujian elektrik. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur resistivitas dari material semikonduktor. Pengujian ini dapat dilakukan untuk mengukur baik material yang berupa padatan maupun lapisan tipis. Pengujian FPP rangkaian listrik yang terdapat voltmeter dan amperemeter. Dua probe terluar memberikan sejumlah arus listrik, sedangkan dua probe bagian dalam mengukur tegangan listrik menggunakan voltmeter untuk mengetahui resistivitas sampel.

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 3. 12** (a) skema rangkaian (Hartono dkk. 2013) (b)  
Pengujian FPP

Sebelum arus dialirkan melalui probe, keempat probe disentuhkan ke permukaan sampel. Setelah itu arus dialirkan melalui probe 1 dan 4. Dengan cara seperti ini arus dialirkan/didistribusikan melalui sampel. Probe 2 dan 3 disentuhkan pada sampel diantara probe 1 dan 4 dimana arus mengalir, probe 2 dan 3 berhubungan dengan voltmeter untuk mengukur tegangan listrik. Saat arus mengalir akan terjadi perubahan tegangan pada volt meter. Perubahan tegangan ini digunakan untuk mengukur nilai resistivitas dari sampel berdasarkan persamaan (3.9) Ada dua persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai resistivitas tergantung jenis sampelnya, yaitu untuk spesimen tebal (*bulk sample*) dan berupa lembaran (*sheet*).

Spesimen tebal memiliki ketentuan bahwa tebal spesimen harus lebih dari  $\frac{3}{2}$  jarak antar probe dan untuk tebal sampel lembaran harus kurang dari  $\frac{3}{2}$  jarak antar probe. Karena *Graphene* merupakan material berupa lembaran tipis, maka mekanisme aliran arusnya membentuk pola menyerupai lingkaran seperti bola. Dengan bentuk bidang tersebut, luasan dapat diasumsikan  $A = 2\pi rxt$ , dimana  $x$  adalah jari-jari bola dan  $t$  adalah tebal sampel. Untuk perhitungan resistivitas, penurunan rumusnya :



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

$$\Delta R = \int_{x1}^{x2} \rho \left( \frac{dx}{A} \right) = \int_s^{2s} \frac{\rho}{2\pi t} \left( \frac{dx}{x} \right) = \int_{x1}^{x2} \frac{\rho}{2\pi t} \ln(x) \quad (3.2)$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln(2) \quad (3.3)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.4)$$

$$\rho = \frac{\pi t}{\ln 2} \times \frac{V}{I} \quad (3.5)$$

Dimana :

$\rho$  : resistivitas ( $\Omega\text{cm}$ )

$t$  : tebal material (cm)

$V$  : tegangan output (Volt)

$I$  : arus listrik (Ampere)

Dari nilai resistivitas, dapat diketahui besar konduktivitas sampel dengan persamaan :

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.6)$$

Dimana :

$\sigma$  : konduktifitas (S/cm)



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



### 3.6 Rancangan Penelitian

Pada penelitian aplikasi komposit *Graphene*/Karbon aktif untuk elektroda superkapasitor dilakukan perencanaan sebagai berikut

**Tabel 3. 3** Rancangan Penelitian

Material	Perbandingan antara massa <i>Graphene</i> dengan karbon aktif (% wt)	SEM	XRD	FPP	CV
Elektroda	80 : 20				
	70 : 30				
	60 : 40				
<i>Nickel Foam</i>					
<i>Carbon Cloth</i>					
<i>Graphene</i>					
Karbon Aktif					
Grafit Oksida					
Grafit					



### 3.7 Jadwal Kegiatan

Jadwal kegiatan untuk penelitian ini dilaksanakan seperti pada tabel dibawah,

**Tabel 3. 4** Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Bulan 1				Bulan 2				Bulan 3				Bulan 4				Bulan 5			
1	Studi literatur																				
2	Persiapan alat dan bahan																				
3	Sintesa Grafit Oksida																				
4	Sintesa <i>Graphene</i>																				
5	Sintesa Komposit <i>Graphene</i> /k arbon aktif																				
5	Pembuatan elektroda <i>Nickel Foam-Graphene/</i> Karbon aktif																				
6	Pengujian SEM, XRD, FPP,																				

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

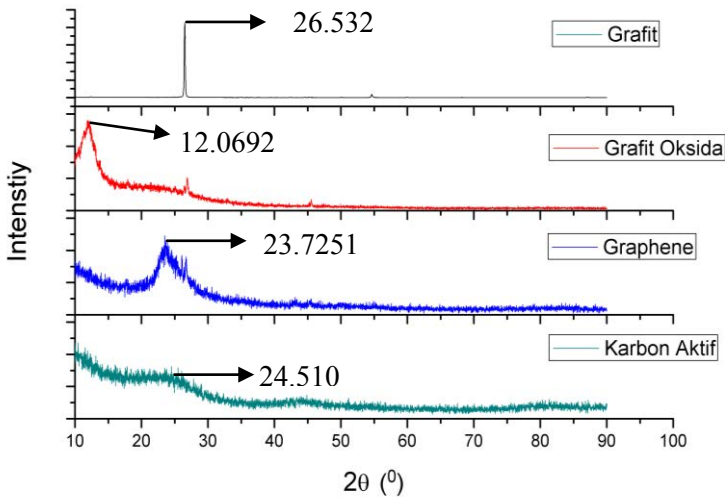
Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



	CV																			
7	Analisa data dan pembahasan																			
8	Penyusunan laporan																			

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengujian X-Ray Diffractometry (XRD)



**Gambar 4. 1** XRD pattern pada grafit, grafit oksida, *Graphene* dan karbon aktif

Dari **Gambar 4.1** dapat diketahui bahwa grafit mempunyai peak yang sangat tajam, dimana menunjukkan bahwa sifat kristalinitas grafit sangat bagus, pada posisi  $2\theta = 26.532^\circ$ , dan peak (101) yang lemah pada posisi  $54.70^\circ$ , serta  $8.93^\circ$  sesuai dengan (ICDD 03-065-6212). Saat proses oksidasi pada grafit selesai dilakukan, terbentuk grafit oksida dengan peak pada posisi  $12.0692^\circ$  menghilang. Peak yang terbentuk pada grafit oksida cukup tajam namun intensitasnya lebih rendah daripada peak yang ada pada grafit. Kemudian setelah proses reduksi selesai dilakukan, terbentuk *Graphene* dengan peak dimana mempunyai profil peak yang lebar pada posisi  $\sim 23\text{--}24^\circ$  sementara. Pola XRD grafit oksida dan *Graphene* terlihat sesuai dengan penelitian yang

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



dilakukan oleh Zhang, dkk(2013) pada **Gambar 2.11**. Namun, peak yang terbentuk pada *Graphene* mempunyai intensitas yang sangat rendah dibanding dengan grafit oksida dan cenderung bersifat amorf.

**Tabel 4. 1 Hasil perhitungan peak pada grafit, grafit oksida, dan *Graphene***

Sampel	$2\theta$ (°)	$d$ -spacing (Å)
Grafit	26.5322	3.359
Grafit oksida	12.0692	7.33
<i>Graphene</i>	23.7251	3.75
Karbon Aktif	24.510	3.63

**Tabel 4.1** menunjukkan bahwa terjadi peningkatan jarak antar layer dari grafit ke grafit oksida. Grafit oksida memiliki  $d_{\text{spacing}} = 7.33 \text{ Å}$ , lebih lebar daripada grafit dengan  $d_{\text{spacing}} = 3.359 \text{ Å}$ . Hal ini terjadi akibat terbentuknya gugus fungsional oksigen dan peningkatan kadar air di lapisan grafit oksida karena adanya proses oksidasi. Kemudian pada *Graphene*, nilai jarak antar layer menurun mendekati nilai dari grafit dimana mengindikasikan hilangnya gugus fungsional oksigen dan air dikarenakan proses oksidasi, *Graphene* memiliki  $d_{\text{spacing}} = 3.75 \text{ Å}$ . Nilai  $d_{\text{spacing}}$  yang menjadi lebih kecil menunjukkan bahwa grafit oksida telah tereduksi menjadi *Graphene*, selain itu nilai  $d_{\text{spacing}}$  *Graphene* yang lebih besar daripada grafit mengindikasikan bahwa telah terjadi pengelupasan lapisan grafit menjadi *single layer Graphene* (Hae-Mi, 2010).

Pengujian XRD juga dilakukan terhadap material karbon aktif, hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas karbon aktif yang dimiliki untuk kemudian dicampur dengan *Graphene*. Peak karbon aktif menunjukkan puncak lebar dan landai dengan struktur karbon adalah amorf, puncak dengan intensitas yang rendah dan berada pada posisi  $24.510^\circ$ . Hal ini menunjukkan kesesuaian peak karbon aktif pada umumnya, hanya saja peak karbon aktif pada gambar memiliki intensitas yang lebih rendah



disbanding karbon aktif pada biasanya, hal ini tentu mempengaruhi performa dari karbon aktif itu sendiri untuk dijadikan elektroda superkasitor bersama *Graphene* yang nanti akan lebih banyak dibahas pada sub bab **4.4. Pengujian Cyclic Voltametry**

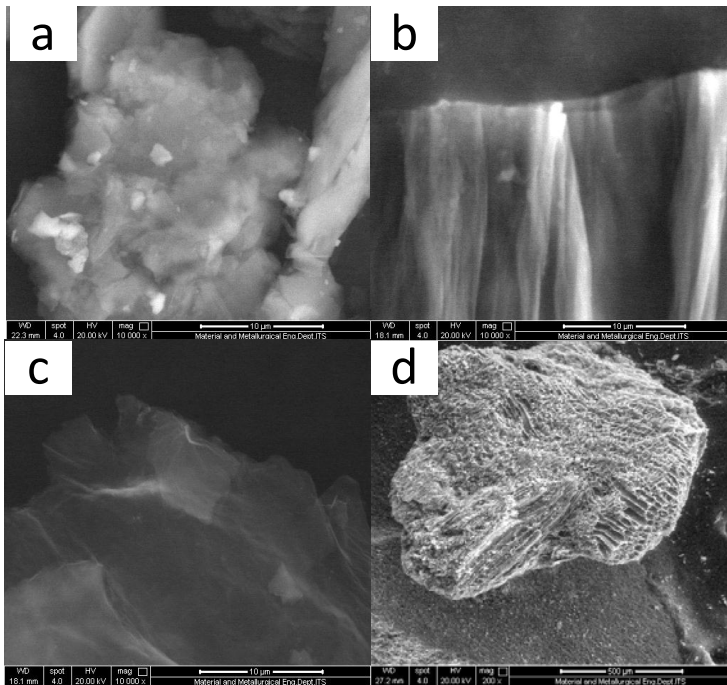
### 4.2 Pengujian Scanning Electron Microscope (SEM)

Pengujian SEM dilakukan terhadap grafit, grafit oksida, *Graphene*, dan karbon aktif untuk mengetahui morfologi permukaannya. Perbedaan morfologi dari grafit sebagai raw material proses sintesis hingga menjadi *Graphene* ditunjukkan oleh **Gambar 4.2**. Dari Gambar terlihat bahwa grafit memiliki morfologi dengan bentuk berupa serpihan-serpihan atau flakes yang ukurannya kecil, menyebar, dan tidak beraturan. Setelah proses oksidasi dan grafit menjadi grafit oksida, morfologi yang pada awalnya berbentuk serpihan kecil berganti menjadi seperti lembaran-lembaran yang berlapis sehingga terlihat tebal seperti yang ditunjukkan **Gambar 4.2b**.

Setelah proses reduksi lebih lanjut, grafit oksida berubah menjadi *Graphene*. Pada **Gambar 4.2c**, nampak bahwa morfologi *Graphene* berupa lembaran-lembaran sangat tipis yang terbentuk akibat pengelupasan kimia dari grafit oksida. Sedangkan morfologi dari karbon aktif berbentuk pori-pori seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2d**. Hal tersebut menunjukkan karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar dan sifatnya sebagai absorben  $\theta$

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*



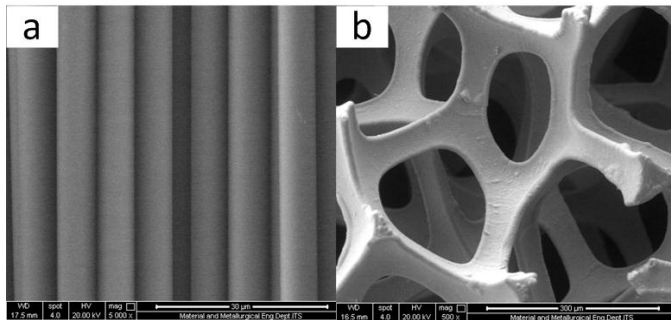
**Gambar 4. 2** Hasil SEM 10.000x antara (a) grafit, (b) grafit oksida, (c) *Graphene* dan SEM 200x (d) karbon aktif

**Gambar 4.3** (a-b) menunjukkan SEM *image* dari *Nickel Foam* polos dengan bentuk seperti *network* atau *sponge*. Dengan bentuk seperti jaring ini, *Nickel Foam* yang berfungsi sebagai pengumpul arus akan memberikan akses yang lebih mudah bagi elektrolit serta meningkatkan luas area kontak akibat strukturnya yang berupa *porous*. Sedangkan **Gambar 4.3** (c-d) menunjukkan SEM *image* dari *Carbon Cloth* polos dengan bentuk seperti benang yang tersusun rapi, benang-benang ini berfungsi untuk menyalurkan arus listrik ke material yang menyisip diantara benang tersebut



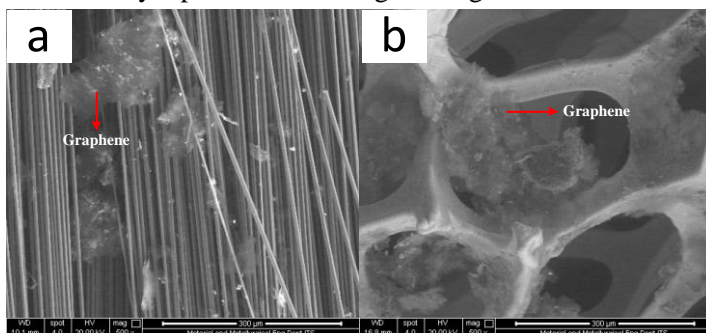
## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 4. 3** Hasil SEM dari (a) Nickel Foam dan (b) Carbon Cloth dengan perbesaran 500x

Pengujian SEM juga dilakukan terhadap elektroda *Nickel Foam-Graphene* dan *Carbon Cloth-Graphene* untuk mengetahui morfologi persebaran *Graphene* yang telah di depositkan pada *Nickel Foam* dan *Carbon Cloth*. Pada **Gambar 4.4**, nampak bahwa *Graphene* telah berhasil di depositkan baik dalam *Nickel Foam* maupun *Carbon Cloth*. Terlihat pula bahwa *Graphene* yang berupa lembaran-lembaran tipis mengisi atau menutupi lubang yang ada di *Nickel Foam*. Sedangkan pada *Carbon Cloth* terlihat bahwa material *Graphene* yang berupa lembaran-lembaran menyisip diantara benang-benang carbon.



**Gambar 4. 4** Morfologi Elektroda (a) Nickel Foam-*Graphene* dan (b) Carbon Cloth-*Graphene* dengan perbesaran 500x

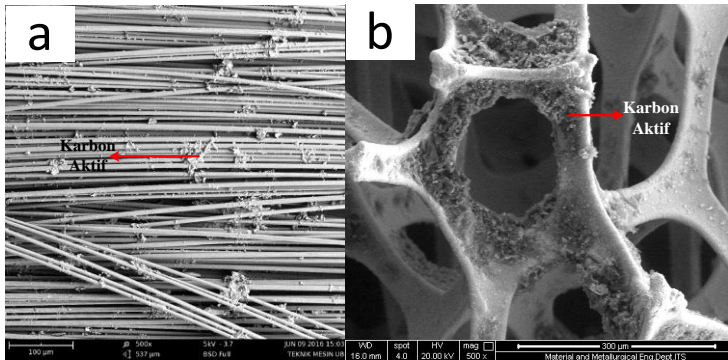


## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



Pada **Gambar 4.5** menunjukkan bahwa material karbon aktif yang berupa butiran-butiran halus menempel pada sela-sela *porous Nickel Foam*, sedangkan pada *Carbon Cloth* nampak bahwa sebaran butiran-butiran karbon aktif menyisip diantara benang-benang carbon.



**Gambar 4. 5** Morfologi Elektroda (a) Nickel Foam-Karbon Aktif dan (b) Carbon Cloth-Karbon Aktif dengan perbesaran 500x

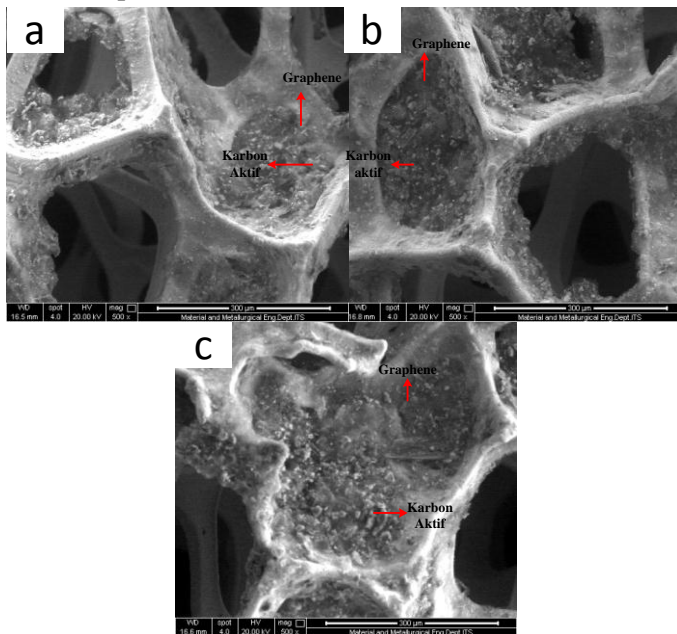
Pengujian SEM juga dilakukan terhadap elektroda *Nickel Foam-Graphene*/Karbon aktif dan elektroda *Carbon Cloth-Graphene*/Karbon aktif untuk mengetahui morfologi dari permukaan yang *Nickel Foam* dan *Carbon Cloth* yang telah di depositkan *Graphene*/karbon aktif. Pada **Gambar 4.6** nampak bahwa *Graphene*/Karbon Aktif telah berhasil didepositkan ke dalam *Nickel Foam*. **Gambar 4.6a** memperlihatkan lembaran *Graphene* dan butir-butir karbon aktif di atasnya, menutup salah satu *porous* yang ada di *Nickel Foam*, Hal ini menunjukkan bahwa *Graphene* dan karbon aktif telah berhasil dicampur dengan metode stirrer dan dapat terdeposit dengan baik di *Nickel Foam*. **Gambar 4.6b dan 4.6c** juga memperlihatkan hal yang serupa dengan **Gambar 4.6a**, nampak terlihat juga lembaran *Graphene* dan butir-butir karbon aktif diatasnya menutup salah satu *porous* dari *Nickel Foam*. Perbedaan antara **Gambar 4.6a, b dan c**



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

adalah jumlah butir-butir karbon aktif yang menempel di lembaran *Graphene*, hal ini menunjukkan kesesuaian variasi komposisi penambahan karbon aktif secara teoritis dengan hasil pengujian. **Gambar 4.6c** memperlihatkan jumlah butir-butir yang paling banyak menempel diatas *Graphene*, dimana butir-butir tersebut merupakan karbon aktif



**Gambar 4. 6** Morfologi Elektroda Nickel Foam-*Graphene* ditambah karbon aktif dengan perbesaran 500x dan variasi massa karbon aktif (a)20%, (b) 30%, (c) 40%

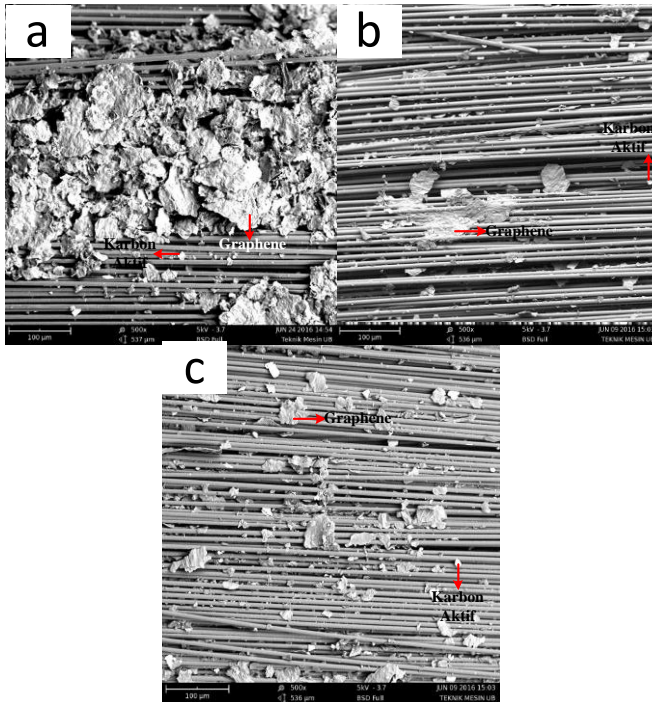
Sedangkan pada Carbon Cloth yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.7 (a-c)** menunjukkan bahwa *Graphene* dan karbon aktif telah berhasil didepositkan sesuai dengan komposisi yang diinginkan. Berbeda dengan nickel foam, adanya penambahan karbon aktif pada carbon cloth tidak terlalu terlihat perbedaannya

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



antara spesimen satu dengan yang lainnya, akan tetapi jumlah *Graphene* telah terlihat jelas pada **Gambar 4.7** dimana pada variasi 80%wt *Graphene* menunjukkan adanya lembaran-lembaran *Graphene* yang paling banyak diantara lainnya



**Gambar 4. 7** Morfologi Elektroda Nickel Foam-*Graphene* ditambah karbon aktif dengan perbesaran 500x dan variasi massa karbon aktif (a)20%, (b) 30%, (c) 40%

### 4. 3 Pengujian Four Point Prober (FPP)

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sumber tegangan 3 V dengan besar arus DC 0.2 A yang telah diatur



nilainya memanfaatkan resistor variabel. Hasil pengujian diperlihatkan pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4. 2** Hasil perhitungan uji FPP

Sampel	Tebal (cm)	Hambatan ( $\Omega$ )	Resistivitas ( $\Omega$ cm)	Konduktivitas Listrik (S/cm)
<i>Graphene</i>	0.015	$4.3 \times 10^3$	292.185	0.0034
Karbon Aktif	0.08	$110 \times 10^3$	39.864	$2.5 \times 10^{-5}$
<i>Nickel Foam</i>	0.05	3.8	0.860	1,16
<i>Carbon Cloth</i>	0.03	24.4	3.316	0.3

Perhitungan konduktifitas listrik dilakukan menggunakan persamaan **3.9** dan **3.10**. Berdasarkan tabel, dapat diketahui perbandingan konduktivitas beberapa material. trend nilai konduktifitas listrik material dari yang paling besar adalah Nickel Foam, Carbon Cloth, *Graphene* dan Karbon Aktif. Dari hasil pengujian FPP, Nickel Foam mempunyai konduktifitas listrik yang paling besar yaitu mencapai 1.16 S/cm. Kemudian nilai konduktifitas listrik terbaik kedua adalah Carbon Cloth sebesar 0.3 S/cm. *Graphene* mempunyai konduktifitas cukup rendah yaitu 0.0034 S/cm kemudian karbon aktif memiliki nilai konduktivitas yang paling rendah yaitu  $2.5 \times 10^{-5}$ . Hal ini mendukung analisa hasil uji *Cyclic Voltametry* (CV).

Analisa hasil CV menunjukkan Nickel Foam memiliki kapasitansi yang lebih baik dari carbon cloth di semua pengujian dengan material yang berbeda, hal ini dikarenakan konduktivitas nickel foam lebih besar sehingga dapat menyalurkan aliran listrik ke semua jaringan *porous* nickel foam yang berisi material. Sedangkan *Graphene* memiliki nilai konduktivitas listrik yang lebih baik disbanding karbon aktif, hal ini mempengaruhi uji CV

## LAPORAN TUGAS AKHIR

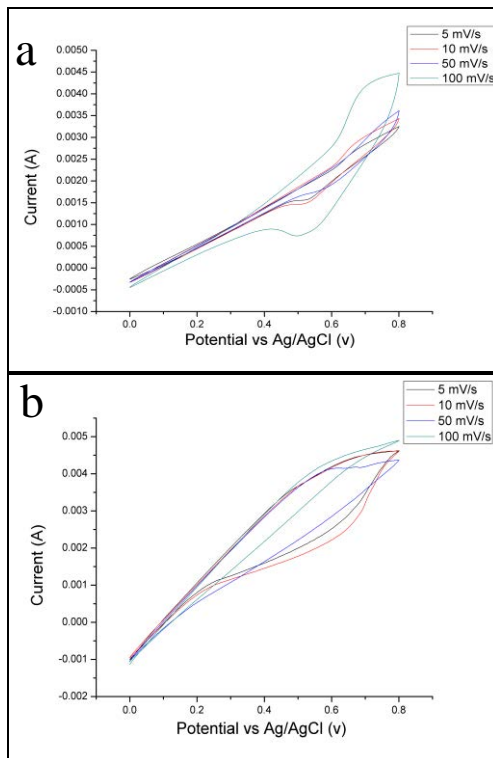
Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



dari kedua material. Hasil uji CV *Graphene* lebih baik ketimbang karbon aktif di semua scan rate. Analisa hasil CV akan dijelaskan pada sub-bab selanjutnya.

### 4.4 Pengujian Cyclic Voltammetry

#### 4.4.1 Uji Cyclic Voltammetry Nickel Foam dan Carbon Cloth



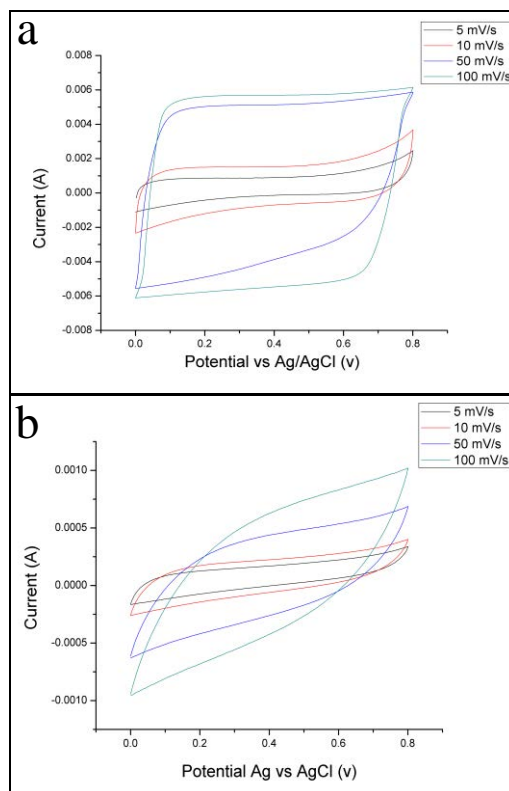
**Gambar 4.8** Kurva E vs C hasil uji CV (a) Nickel Foam , (b) Carbon Cloth

Dari **Gambar 4.8** terlihat bahwa kurva yang dihasilkan oleh Nickel Foam polos dan Carbon Cloth dalam elektrolit



$\text{Na}_2\text{SO}_4$  tidak terdapat hump atau gundukan yang merupakan indikator terjadinya reaksi redoks pada potensial kerja 0-0.8 V. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan *current collector* baik Nickel Foam maupun Carbon Cloth tidak menimbulkan efek pseudocapacitance.

#### 4.4.2 Uji Cyclic Voltametry *Graphene*



**Gambar 4. 9** Kurva E vs C hasil uji CV (a) Nickel Foam-*Graphene*, (b) Carbon Cloth-*Graphene*

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*



Kedua kurva hasil uji CV dalam elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tersebut menunjukkan karakteristik bentuk kapasitor yaitu berupa *mirror image* atau simetris tanpa adanya *hump* akibat reaksi redoks. Elektroda dengan *current collector* nickel foam memiliki bentuk yang rectangular pada scan rate 100 mV/s. Pada scan rate lain, **Gambar 4.9a** menunjukkan bentuk simetris meskipun tidak sebaik pada scan rate 100 mV/s, kurva dengan bentuk paling sempit luasannya memiliki nilai kapasitansi spesifiknya sebesar 157.77 F/g pada *scan rate* 5 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik ini didapatkan melalui perhitungan dengan persamaan 3.3. Sedangkan Elektroda dengan *current collector* Carbon Cloth memiliki bentuk yang tidak rectangular pada scan rate 100 mV/s, bahkan cenderung bersifat resistif karena agak miring keatas. Pada scan rate 5 mV/s bentuk dari kurva tidak terlalu lebar akan tetapi cukup simetris dengan nilai kapasitansi spesifik 125 F/g. Baik Nickel Foam maupun Carbon Cloth, saat didepositkan dengan *Graphene* keduanya menunjukkan bentuk kurva yang simetris, sedangkan nilai kapisitansi terlihat nickel foam memiliki nilai kapasitansi yang tinggi di semua scan rate.

Bentuk kurva dan nilai kapasitansi spesifik sangat dipengaruhi oleh *scan rate*. Peningkatan *scan rate* berakibat pada penurunan nilai kapasitansi spesifik. Efek ini disebabkan ketika *scan rate* yang diberikan kecil maka laju aliran pemberian tegangan menjadi lambat sehingga ion-ion yang terdisosiasi dari elektrolit dapat berdifusi masuk sampai kedalam elektroda *Nickel Foam-Graphene* membentuk *double layer*. Sedangkan ketika *scan rate* yang diberikan tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat, ion-ion elektrolit mempunyai waktu yang lebih singkat untuk berdifusi dan membentuk *double layer* pada interface elektroda-elektrolit. Sebagai analisa, potensial kerja maksimum pengujian adalah 800 mV dan berlaku scan rate 5 mV/s. Dengan membagi potensial dan scan rate diperoleh waktu sebesar 160 s bagi ion-ion elektrolit untuk berdifusi. Sedangkan bila menggunakan scan rate 100 mV/s, maka waktu difusinya



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

akan berkurang drastis hanya menjadi 8 s. Waktu difusi yang singkat ini juga membuat kapasitansi menjadi lebih kecil. Tabulasi perhitungan kapasitansi spesifik berdasarkan jenis *current collector* dan *scan rate* pada elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  diberikan

pada **Tabel 4.3**.

**Tabel 4. 3** Perhitungan kapasitansi spesifik *Graphene*

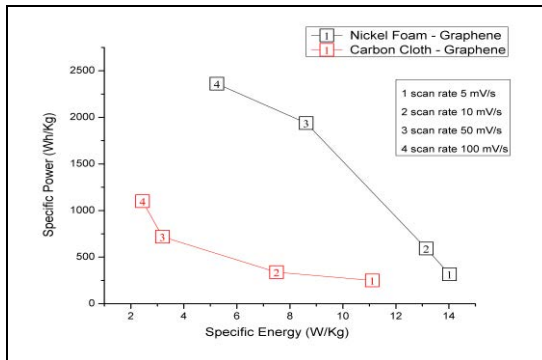
No	sampel	Scan rate (mV/s)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	Nickel Foam- <i>Graphene</i>	0.005	157.776
		0.01	147.916
		0.05	96.944
		0.1	59.009
2	Carbon Cloth- <i>Graphene</i>	0.005	125
		0.01	84.375
		0.05	35.937
		0.1	27.5

Selain perhitungan kapasitansi spesifik, data dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5. Tabulasi hasil perhitungan energi spesifik dan daya spesifik untuk elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  beserta plot Ragone-nya terdapat pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.11. Dari Gambar bisa dilihat bagaimana plot ragone dari ketiga sampel memiliki specific power dan specific energy yang berbeda



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*



**Gambar 4. 10** Plot Ragone hasil uji CV *Graphene*

**Tabel 4. 4** Perhitungan Energi spesifik dan Daya spesifik dari hasil uji CV *Graphene*

No	sampel	Scan rate (mV/s)	Energi Spesifik (Wh/kg)	Daya Spesifik (W/kg)
1	Nickel Foam- <i>Graphene</i>	0.005	14.025	315.556
		0.01	13.148	591.667
		0.05	8.617	1938.889
		0.1	5.245	2360.278
2	Carbon Cloth- <i>Graphene</i>	0.005	11.111	250.000
		0.01	7.500	337.500
		0.05	3.194	718.750
		0.1	2.444	1100.000

Dari perhitungan yang telah dilakukan, nampak bahwa Nickel Foam-*Graphene* memiliki Daya spesifik dan Energi spesifik yang lebih tinggi dibanding carbon cloth-*Graphene*, sebesar 2360.278 W/kg dan 5.245 Wh/Kg pada scan rate 100 mV/s. sedangkan carbon cloth memiliki daya spesifik dan energi spesifik sebesar 1100.000 W/kg dan 2.444 Wh/kg pada scan rate



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---

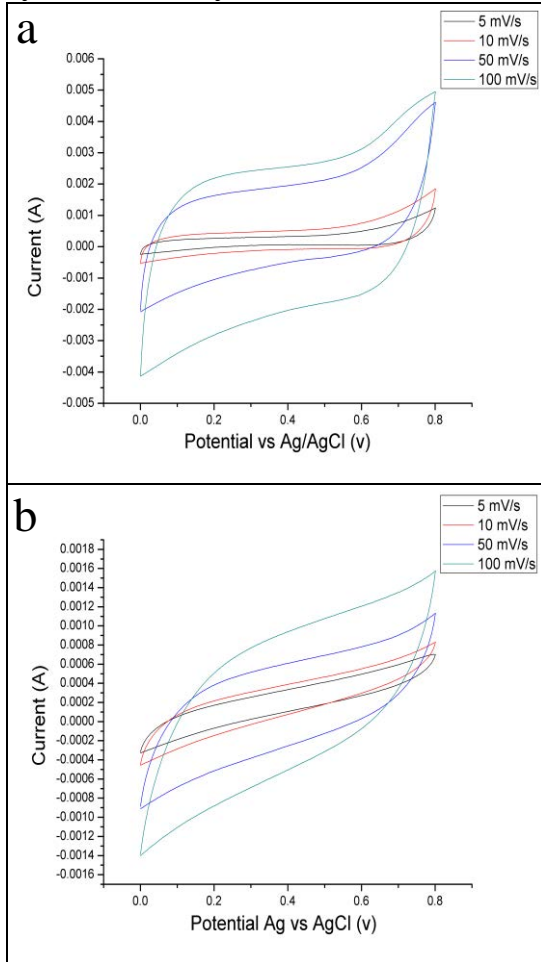
100 mV/s. Baik Nickel Foam maupun Carbon Cloth mengalami kenaikan daya spesifik dan energy spesifik dari scan rate terkecil hingga terbesar, namun pada Nickel Foam-*Graphene* dengan scan rate 5 mV/s dan 10 mV/s menunjukkan hal sebaliknya, energy spesifik yang seharusnya trendnya turun di setiap penambahan scan rate, menunjukkan sedikit kenaikan di scan rate 10 mV/s. hal ini dipengaruhi oleh nilai kapasitansi spesifik scan rate 10 mV/s yang lebih besar dibanding scan rate 5 mV/s. Dari hasil perhitungan daya spesifik dan energy spesifik pada **tabel 4.6** nampak bahwa karbon aktif memenuhi karakteristik sebagai superkapasitor karena daya spesifik (W/Kg) berada pada rentang  $10^1$  hingga  $10^6$  sedangkan energy spesifik berada pada rentang  $10^1$  hingga 20

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



### 4.4.3 Uji Cyclic Voltammetry Karbon Aktif



**Gambar 4. 11** Kurva E vs C hasil uji CV (a) Nickel Foam - Karbon Aktif , (b) Carbon Cloth-Karbon Aktif



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

Kedua kurva hasil uji CV dalam elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tersebut menunjukkan karakteristik bentuk kapasitor yaitu berupa *mirror image* atau simetris tanpa adanya *hump* akibat reaksi redoks. Elektroda dengan *current collector* nickel foam memiliki luas area yang lebih lebar pada scan rate 100 mV/s. Pada scan rate lain, **Gambar 4.9a** menunjukkan bentuk simetris meskipun tidak sebaik pada scan rate 100 mV/s, kurva dengan bentuk paling sempit luasannya memiliki nilai kapasitansi spesifiknya sebesar 29.72 F/g pada *scan rate* 5 mV/s. Nilai kapasitansi spesifik ini didapatkan melalui perhitungan dengan persamaan **3.3**. Sedangkan Elektroda dengan *current collector* Carbon Cloth memiliki bentuk yang tidak rectangular pada scan rate 100 mV/s, bahkan cenderung bersifat resistif karena agak miring keatas. Pada scan rate 5 mV/s bentuk dari kurva tidak terlalu lebar dan memiliki nilai kapasitansi spesifik 18.95 F/g. Baik Nickel Foam maupun Carbon Cloth, saat didepositkan dengan Karbon Aktif keduanya menunjukkan karakteristik kapasitor, sedangkan nilai kapisitansi terlihat nickel foam memiliki nilai kapasitansi yang tinggi di semua scan rate.

Sama halnya dengan uji CV *Graphene*, Bentuk kurva dan nilai kapasitansi spesifik sangat dipengaruhi oleh *scan rate*. Peningkatan *scan rate* berakibat pada penurunan nilai kapasitansi spesifik. Efek ini disebabkan ketika *scan rate* yang diberikan kecil maka laju aliran pemberian tegangan menjadi lambat sehingga ion-ion yang terdisosiasi dari elektrolit dapat berdifusi masuk sampai kedalam elektroda *Nickel Foam*-karbon aktif dan Carbon Cloth-karbon Aktif membentuk *double layer* menjadi cepat, ion-ion elektrolit mempunyai waktu yang lebih singkat untuk berdifusi dan membentuk double layer pada interface elektroda- elektrolit.

Tabulasi perhitungan kapasitansi spesifik berdasarkan jenis *current collector* dan *scan rate* pada elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  diberikan pada **Tabel 4.5**

## LAPORAN TUGAS AKHIR

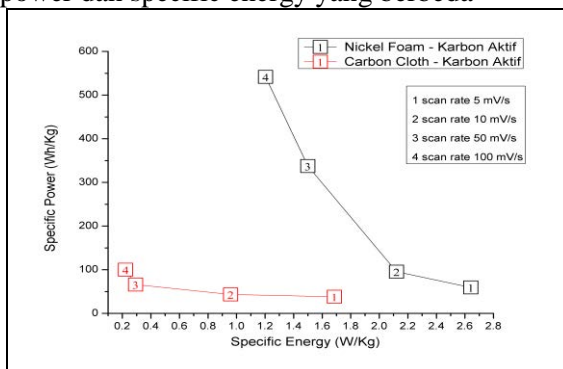
Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Tabel 4. 5** Perhitungan kapasitansi spesifik Karbon Aktif

No	sampel	Scan rate (mV/s)	Kapasitansi Spesifik (F/g)
1	Nickel Foam- Karbon Aktif	0.005	29.722
		0.01	23.868
		0.05	16.875
		0.1	13.541
2	Carbon Cloth- Karbon Aktif	0.005	18.958
		0.01	10.791
		0.05	3.291
		0.1	2.5

Selain perhitungan kapasitansi spesifik, data dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5. Tabulasi hasil perhitungan energi spesifik dan daya spesifik untuk elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  beserta plot Ragone-nya terdapat pada **Tabel 4.6** dan **Gambar 4.12**. Dari Gambar bisa dilihat bagaimana plot ragone dari kedua sampel memiliki specific power dan specific energy yang berbeda



**Gambar 4. 12** Plot Ragone hasil uji CV Karbon Aktif



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

**Tabel 4. 6** Perhitungan Energi spesifik dan Daya spesifik dari hasil uji CV Karbon Aktif

No	sampel	Scan rate (mV/s)	Energi Spesifik (Wh/kg)	Daya Spesifik (W/kg)
1	Nickel Foam- Karbon Aktif	0.005	2.642	59.444
		0.01	2.122	95.472
		0.05	1.500	337.500
		0.1	1.204	541.667
2	Carbon Cloth- Karbon Aktif	0.005	1.685	37.917
		0.01	0.959	43.167
		0.05	0.293	65.833
		0.1	0.222	100.000

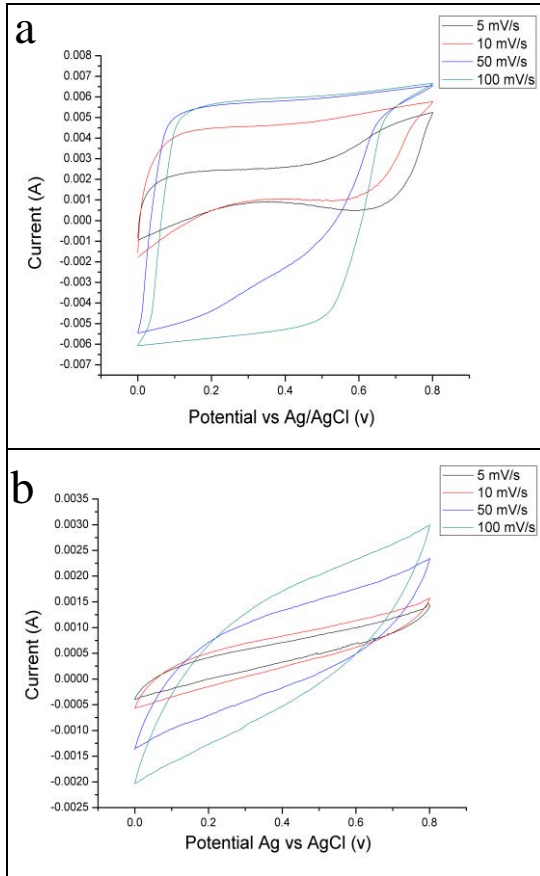
Dari perhitungan yang telah dilakukan, nampak bahwa Nickel Foam-KarbonAktif memiliki Daya spesifik dan Energy spesifik yang lebih tinggi dibanding carbon cloth-Karbon Aktif, sebesar 541.667 W/kg dan 1.204 Wh/Kg pada scan rate 100 mV/s. sedangkan carbon cloth memiliki daya spesifik dan energy spesifik sebesar 1100.000 W/kg dan 2.444 Wh/kg pada scan rate 100 mV/s. Baik Nickel Foam maupun Carbon Cloth mengalami kenaikan daya spesifik dan energy spesifik dari scan rate terkecil hingga terbesar. Dari hasil perhitungan daya spesifik dan energy spesifik pada **Tabel 4.6** nampak bahwa karbon aktif memenuhi karakteristik sebagai superkapasitor karena daya spesifik (W/Kg) berada pada rentang  $10^1$  hingga  $10^6$  sedangkan energy spesifik berada pada rentang  $10^1$  hingga 20

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



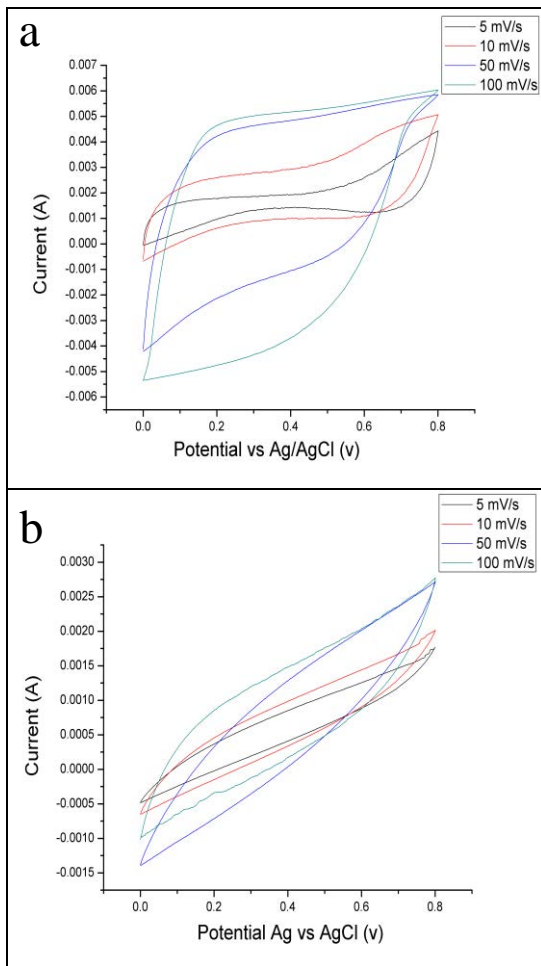
### 4.4.4 Uji Cyclic Voltametry *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif



**Gambar 4. 13** Kurva E vs C hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 20 % (a) Nickel Foam, (b) Carbon Cloth



**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

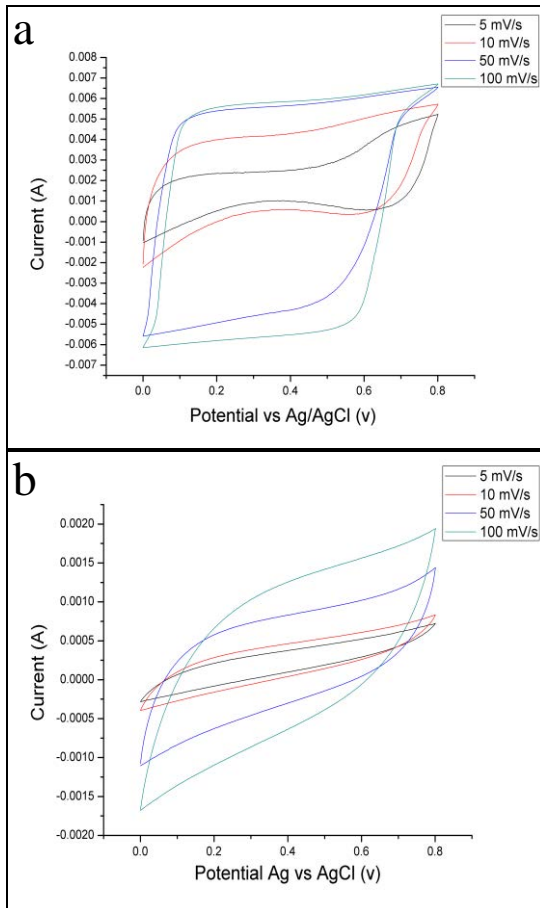


**Gambar 4. 14** Kurva E vs C hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 30 % (a) Nickel Foam, (b) Carbon Cloth



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapacitor berbahan *Graphene*



**Gambar 4. 15** Kurva E vs C hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 40 % (a) Nickel Foam, (b) Carbon Cloth

Keenam kurva hasil uji CV dalam elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tersebut menunjukkan karakteristik bentuk kapasitor yaitu berupa *mirror image* atau simetris tanpa adanya *hump* akibat reaksi



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---

redoks dan beberapa memperlihatkan kurva yang miring keatas dimana hal ini menunjukkan bahwa kurva tersebut bersifat resistif. Penambahan karbon aktif kedalam *Graphene* dengan teknik pencampuran menggunakan *stirring* dan ultrasonikasi telah terbukti mempengaruhi hasil uji Cyclic Voltametry, dimana grafik voltammogram menunjukkan kenaikan *current* dibanding grafik voltammogram *Graphene* sehingga nilai kapasitansi spesifik yang dihasilkan lebih besar.

Elektroda dengan *current collector* nickel foam di semua variasi penambahan karbon aktif memiliki bentuk kurva yang rectangular pada scan rate 50 dan 100 mV/s. Pada scan rate 5 dan 10 mV/s bentuk kurva tidak simetris dan cenderung berada diatas titik 0 pada sumbu Y, hal ini dikarenakan adanya pengaruh karbon aktif yang membuat bentuk kurva pada scan rate 5 dan 10 mV/s di semua variasi berada diatas 0. **Gambar 4.11** menunjukkan bahwa kurva karbon aktif lebih cenderung agak naik keatas, berbeda dengan *Graphene* yang ditunjukkan **Gambar 4.9** yang cenderung lebih simetris di semua scan rate. Nilai kapasitansi spesifik Elektroda Nickel Foam-*Graphene* variasi penambahan karbon aktif mulai dari 20% wt, 30%wt dan 40%wt didapatkan melalui perhitungan dengan persamaan 3.3. Nilai kapasitansi spesifik secara berturut-turut adalah 302.88, 217,18 dan 180.97 F/g pada scan rate 5 mV/s.

Elektroda dengan *current collector* Carbon Cloth di semua variasi penambahan karbon aktif juga memperlihatkan adanya pengaruh dari karbon aktif terhadap hasil uji Cyclic Voltametry, kurva carbon cloth di semua variasi penambahan karbon aktif dan semua scan rate menunjukkan kurva yang agak miring keatas, hal ini menunjukkan bahwa elektroda carbon cloth-*Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif bersifat resistif. Sama halnya dengan elektroda nickel Foam, pengaruh karbon aktif membuat kurva di semua variasi penambahan karbon aktif dan semua scan rate naik keatas, sehingga membuat nilai *current* di sumbu Y lebih besar, jika dibandingkan dengan kurva

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



pada **Gambar 4.9b** dan **Gambar 4.11b**. Nilai kapasitansi spesifik Elektroda Carbon Cloth-*Graphene* variasi penambahan karbon aktif mulai dari 20% wt, 30%wt dan 40%wt yang didapatkan melalui perhitungan dengan persamaan **3.3** secara berturut-turut adalah 281.25, 229.17, dan 83. 93 F/gr pada scan rate 5 mV/s. **Tabel 4.7** menunjukkan bahwa nilai kapasitansi spesifik elektroda nickel foam-*Graphene* maupun carbon cloth-*Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif mengalami peningkatan nilai kapasitansi hampir di semua scan rate dibanding nilai kapasitansi spesifik *Graphene* tanpa diberi karbon aktif dan nilai kapasitansi spesifik karbon aktif itu sendiri.

Sama halnya dengan uji CV *Graphene* dan karbon aktif, bentuk kurva dan nilai kapasitansi spesifik sangat dipengaruhi oleh *scan rate*. Peningkatan *scan rate* berakibat pada penurunan nilai kapasitansi spesifik. Efek ini disebabkan ketika *scan rate* yang diberikan kecil maka laju aliran pemberian tegangan menjadi lambat sehingga ion-ion yang terdisosiasi dari elektrolit dapat berdifusi masuk sampai kedalam elektroda *Nickel Foam-Graphene* membentuk *double layer*. Sedangkan ketika *scan rate* yang diberikan tinggi maka laju aliran tegangan menjadi cepat, ion-ion elektrolit mempunyai waktu yang lebih singkat untuk berdifusi dan membentuk *double layer* pada interface elektroda-elektrolit.

**Tabel 4. 7** Perhitungan kapasitansi spesifik Grapehene dengan variasi penambahan karbon aktif

No	sampel	Scan rate (mV/s)	Kapasitansi Spesifik
1	Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20% wt	0.005	302.884
		0.01	233.173
		0.05	71.1538
		0.1	41.298
2	Carbon Cloth-	0.005	281.25



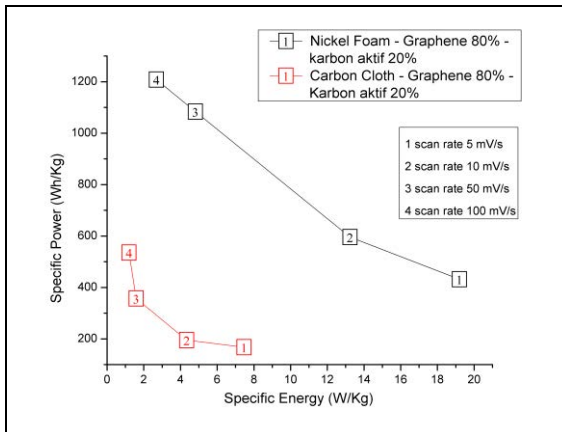
**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

	<i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20% wt	0.01	156.25
		0.05	49.065
		0.1	33.905
3	Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 30% wt	0.005	217.185
		0.01	133.984
		0.05	41.718
		0.1	26.562
4	Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 30% wt	0.005	229.166
		0.01	125
		0.05	37.5
		0.1	20.833
5	Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40% wt	0.005	180.972
		0.01	148.958
		0.05	54.1666
		0.1	30.208
6	Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40% wt	0.005	83.928
		0.01	48.839
		0.05	17.857
		0.1	13.392

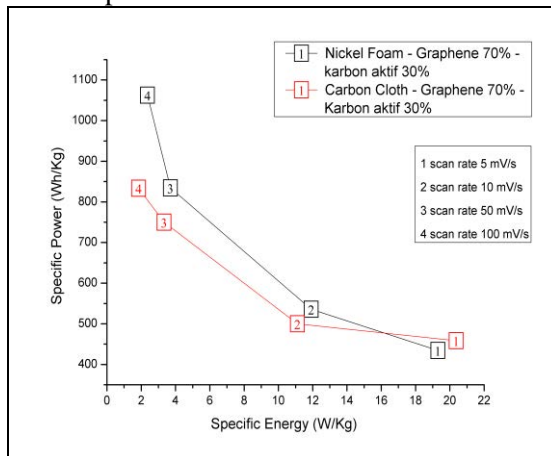
Selain perhitungan kapasitansi spesifik, data dari pengujian CV juga dapat digunakan untuk menentukan nilai energi spesifik dan daya spesifik dengan menggunakan persamaan 3.4 dan 3.5. Tabulasi hasil perhitungan energi spesifik dan daya spesifik untuk elektrolit  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  beserta plot Ragone-nya terdapat pada **Tabel 4.7, Gambar 4.17, Gambar 4.18 dan Gambar 4.19**. Dari Gambar bisa dilihat bagaimana plot ragone tiap *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif yang berbeda memiliki specific power dan specific energy yang juga berbeda.

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



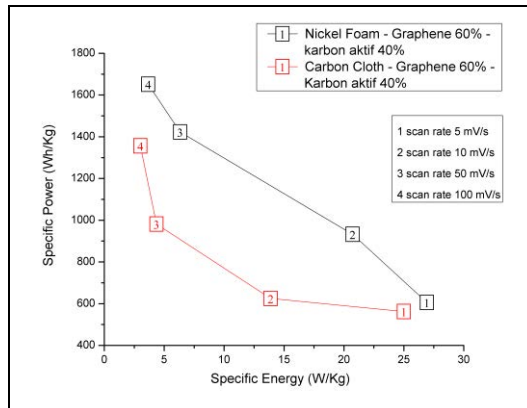
**Gambar 4. 16** Plot Ragone hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 20%



**Gambar 4. 17** Plot Ragone hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 30%



# **LAPORAN TUGAS AKHIR** Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



**Gambar 4. 18** Plot Ragone hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 40%

**Tabel 4. 8** Perhitungan Energi spesifik dan Daya spesifik dari hasil uji CV *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif

No	sampel	Scan rate (mV/s)	Energi Spesifik (W/kg)	Daya Spesifik (Wh/kg)
1	Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20% wt	0.005	19.198	605.769
		0.01	13.241	932.692
		0.05	4.815	1423.077
		0.1	2.685	1651.923
2	Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20% wt	0.005	7.460	167.857
		0.01	4.341	195.357
		0.05	1.587	357.143
		0.1	1.190	535.714
3	Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah	0.005	19.306	434.375
		0.01	11.910	535.938
		0.05	3.708	834.375

## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



4	karbon aktif 30% wt	0.1	2.361	1062.500
	Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 30% wt	0.005	20.370	458.333
		0.01	11.111	500.000
		0.05	3.333	750.000
		0.1	1.852	833.333
5	Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40% wt	0.005	26.923	431.944
		0.01	20.726	595.833
		0.05	6.325	1083.333
		0.1	3.671	1208.333
6	Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40% wt	0.005	25.000	562.500
		0.01	13.889	625.000
		0.05	4.361	981.250
		0.1	3.014	1356.250

Dari perhitungan yang telah dilakukan, nampak bahwa Nickel Foam-*Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 20%, 30% dan 60% memiliki Daya spesifik secara berturut-turut adalah 1651.923, 1062.500 dan 1208.33 W/Kg dan Energy spesifik secara berturut-turut adalah 2.685, 2.361 dan 3.761 Wh/kg pada scan rate 100 mV/s. Sedangkan carbon cloth - *Graphene* dengan variasi penambahan karbon aktif 20%, 30% dan 60% memiliki Daya spesifik secara berturut-turut adalah 535.174, 641. 667, dan 1356.250 W/kg dan Enenrgy spesifik secara berturut-turut adalah 1.19, 1426, dan 3.014 pada scan rate 100 mV/s. Baik Nickel Foam maupun Carbon Cloth mengalami kenaikan daya spesifik dan energy spesifik dari scan rate terkecil hingga terbesar. Dari hasil perhitungan daya spesifik dan energy spesifik pada **Tabel 4.7** nampak bahwa karbon aktif memenuhi karakteristik sebagai superkapasitor karena daya spesifik (W/Kg) berada pada rentang  $10^1$  hingga  $10^6$  sedangkan energy spesifik berada pada rentang  $10^1$  hingga 20



#### **4.4.5 Pengaruh penambahan karbon aktif terhadap sifat kapasitif superkapasitor *Graphene***

Penambahan karbon aktif pada *Graphene* terbukti mempengaruhi sifat kapasitif superkapasitor *Graphene* yang ditunjukkan dengan grafik voltametri. Pegujian voltametri siklik menunjukkan adanya transfer muatan ke permukaan elektroda dengan memberikan potensial ke elektroda sehingga terjadi proses pembentukan lapisan *double layer* yang kemudian respon transfer muatan diukur oleh besaran nilai arus di grafik voltametri.

Pengaruh penambahan karbon aktif dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dimana penambahan karbon aktif meningkatkan nilai  $\int I dv$ . Nilai  $\int I dv$  merupakan nilai transfer muatan ke permukaan elektroda yang diukur dengan menunjukkan nilai arus/current yang didapat dari mengintegrasikan luasan pada grafik voltametri. Diketahui bahwa penambahan karbon aktif membuat transfer muatan di permukaan elektroda menjadi lebih besar yang berarti karbon aktif menambah luas permukaan aktif *Graphene* untuk menerima muatan dari elektrolit. Hal ini menunjukkan adanya karbon aktif meningkatkan nilai kapasitansi dari *Graphene* tersebut. Dari **Tabel 4.1** dapat dilihat bahwa penambahan karbon aktif 20% memiliki nilai luas permukaan elektroda yang menerima muatan paling besar hal ini ditunjukkan oleh nilai  $\int I dv$  pada tabel, dibanding dengan penambahan 30% dan 40%.

**Tabel 4. 9 Perhitungan nilai  $\int I dv$**

sampel	$\int I dv$
Nickel Foam - <i>Graphene</i>	0.00114
Carbon Cloth - <i>Graphene</i>	0.00020
Nickel Foam - Karbon aktif	0.00043



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



Carbon Cloth – Karbon aktif	0.00046
Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20% wt	0.0032
Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 20% wt	0.0011
Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 30% wt	0.0029
Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 30% wt	0.0001
Nickel Foam- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40% wt	0.0028
Carbon Cloth- <i>Graphene</i> ditambah karbon aktif 40% wt	0.00047

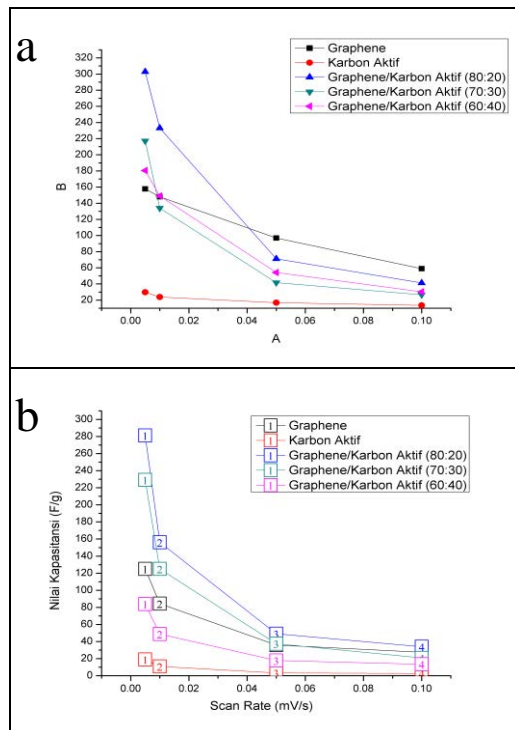
**Gambar 4.19** menunjukkan grafik perbandingan nilai kapasitansi antara graphe dengan *Graphene* ditambah karbon aktif. Bila dilihat trend dari nilai kapasitansi dari setiap variasi penambahan karbon aktif, baik menggunakan Nickel Foam maupun Carbon Cloth nampak bahwa variasi penambahan karbon aktif yang paling maksimal adalah 20%wt diikuti dengan 30%wt dan 40% wt. Hal ini membuktikan bahwa penambahan karbon aktif dengan komposisi yang lebih sedikit dapat menaikkan nilai kapasitansi lebih tinggi dibanding penggunaan karbon aktif yang lebih banyak.



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

Kualitas karbon aktif juga sangat mempengaruhi nilai kapasitansi dari *Graphene*/karbon aktif, perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk melihat pengaruh dari pemilihan jenis karbon aktif yang memiliki spesifikasi tertentu dengan karbon aktif lainnya. Hal ini dikarenakan penggunaan karbon aktif pada penelitian ini tidak terlalu baik, hal ini ditunjukkan oleh karakteristik karbon aktif yang digunakan saat dilakukan uji XRD, hasil XRD menunjukkan peak yang cenderung lebih landai pada rentang  $24-25^{\circ}$  dibanding dengan beberapa karbon aktif lainnya.



**Gambar 4. 19** Grafik perbandingan nilai kapasitansi (a) Nickel Foam (b) Carbon Cloth

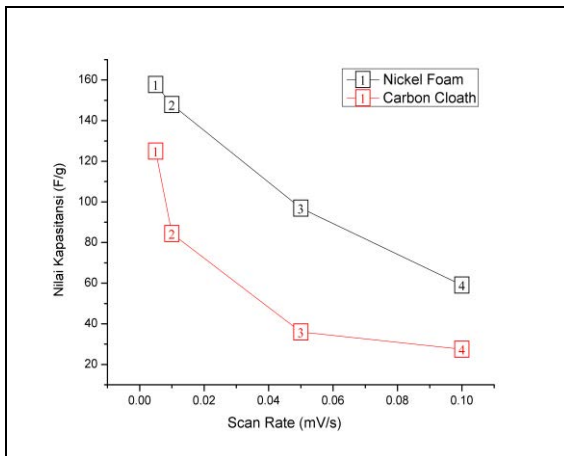
## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*



### 4.4.6 Pengaruh penggunaan *current collector* terhadap sifat kapasitif superkapasitor *Graphene*

Pemilihan jenis *current collector* superkapasitor terbukti mempengaruhi sifat kapasitif superkapasitor *Graphene* yang ditunjukkan dengan nilai kapasitansi, berikut ini merupakan grafik perbandingan nilai kapasitansi antara Nickel Foam dengan Carbon Cloth.

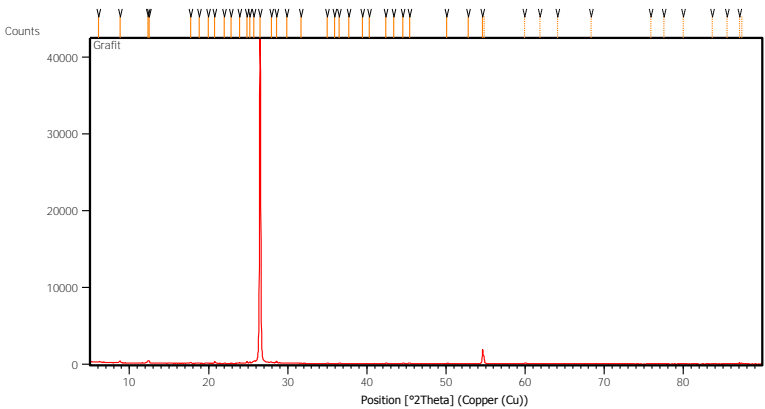


**Gambar 4. 20** Grafik perbandingan nilai kapasitansi Nickel Foam dengan Carbon Cloth

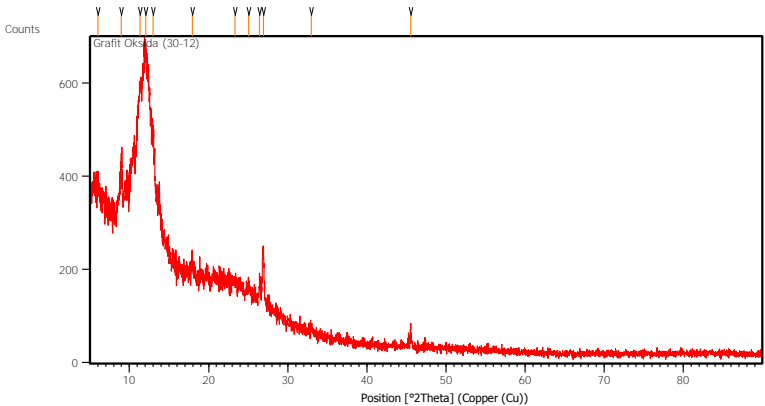
Penggunaan Nickel Foam sebagai *current collector* terbukti lebih baik dibanding Carbon Cloth, hal ini ditunjukkan oleh **Gambar 4.20**, dimana nilai kapasitansi Nickel Foam-*Graphene* lebih baik dibanding Carbon Cloth-*Graphene* di semua scan rate. Hal ini dikarenakan konduktivitas listrik Nickel Foam lebih baik dibanding Carbon Cloth yang ditunjukkan pada **Tabel 4.2**, sehingga mampu mengalirkan listrik ke semua permukaan *Graphene* sehingga nilai kapasitansi yang terbaca lebih baik.

**LAMPIRAN**

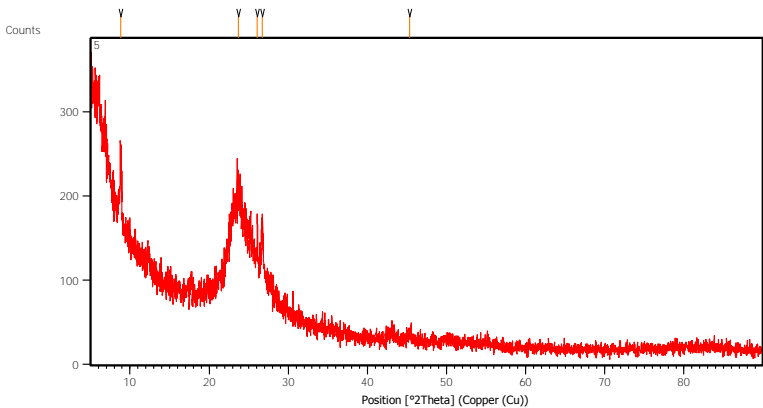
**Lampiran 1: Grafik XRD Grafit**



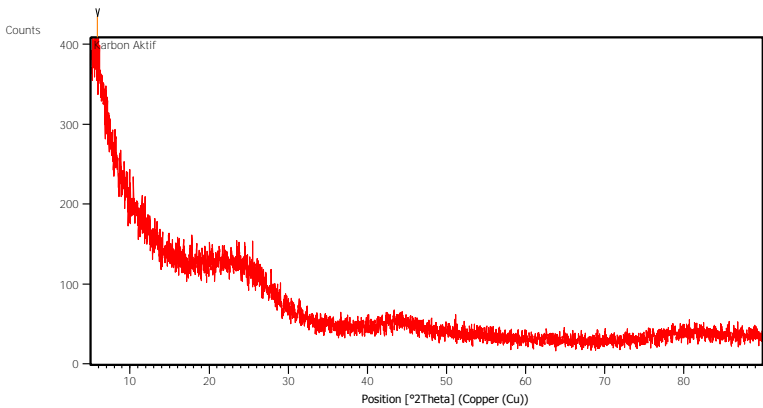
**Lampiran 2: Grafik XRD Grafit Oksida**



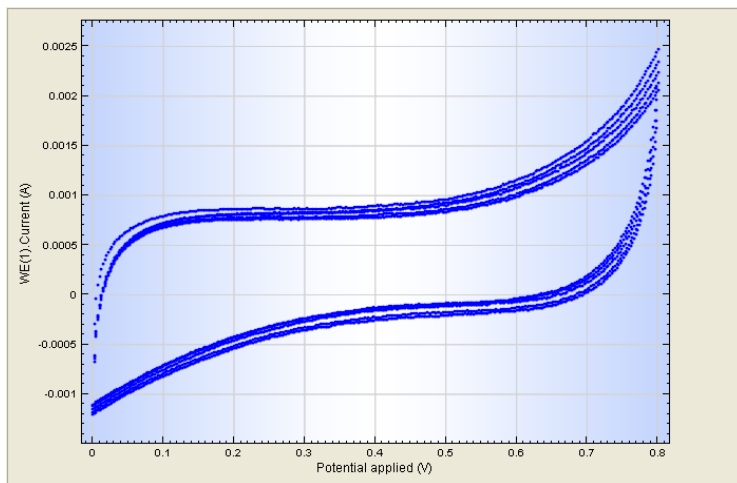
**Lampiran 3: Grafik XRD*Graphene***



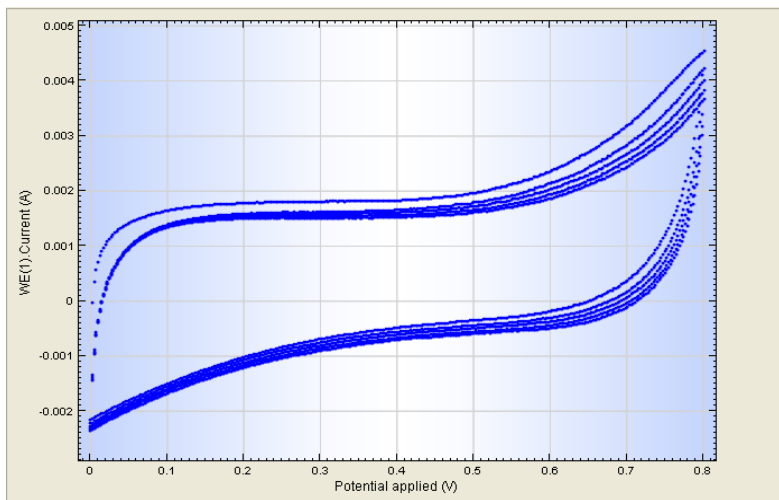
**Lampiran 4: Grafik XRD Karbon Aktif**



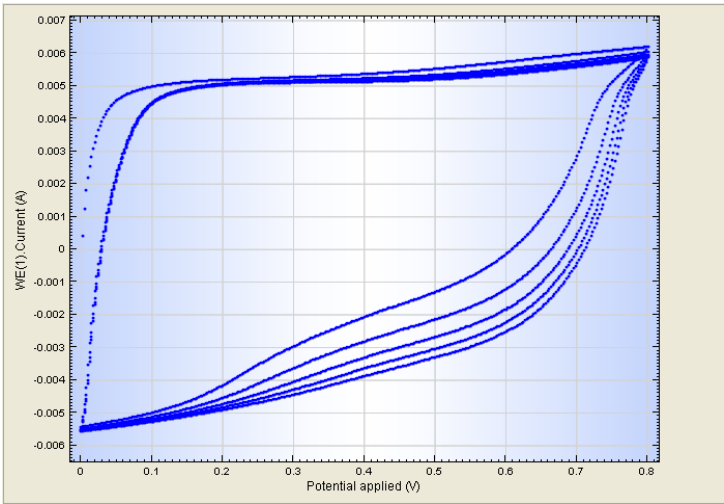
### Lampiran 5: Grafik CV Nickel Foam *Graphene* Scan rate 5 mV/s



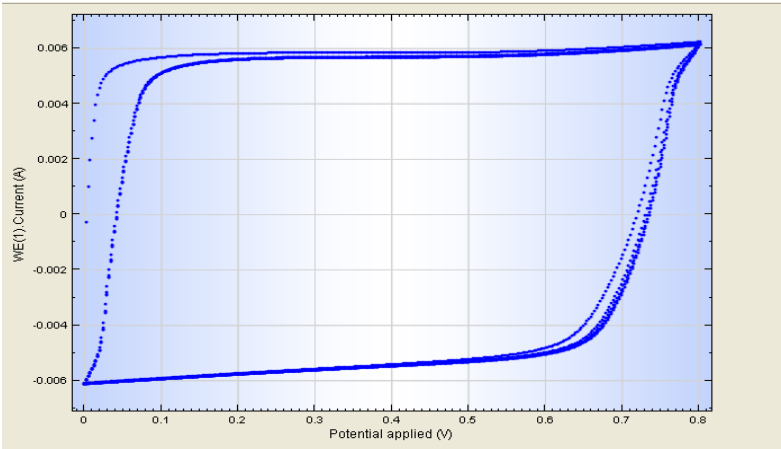
### Lampiran 6: Grafik CV Nickel Foam *Graphene* Scan rate 10 mV/s



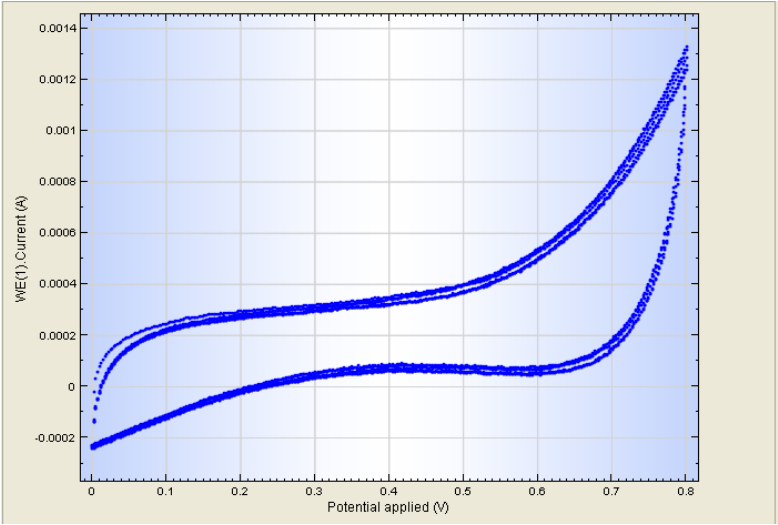
**Lampiran 7: Grafik CV Nickel Foam *Graphene* Scan rate 50 mV/s**



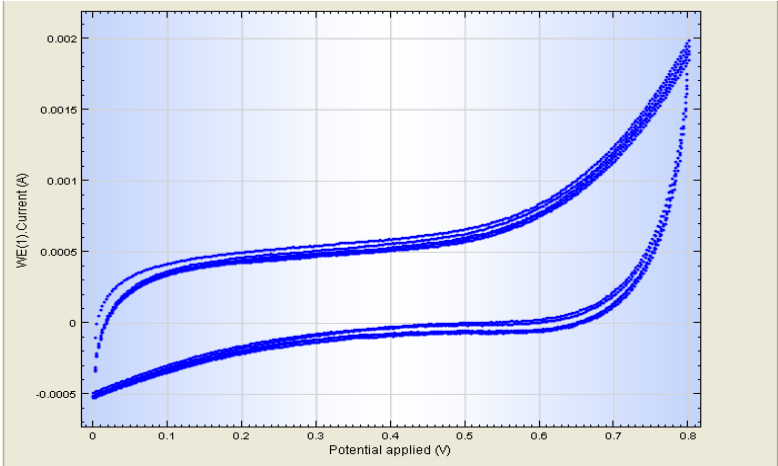
**Lampiran 8: Grafik CV Nickel Foam - *Graphene* Scan rate 100 mV/s**



**Lampiran 9: Grafik CV Nickel Foam – Karbon aktif Scan rate 5 mV/s**

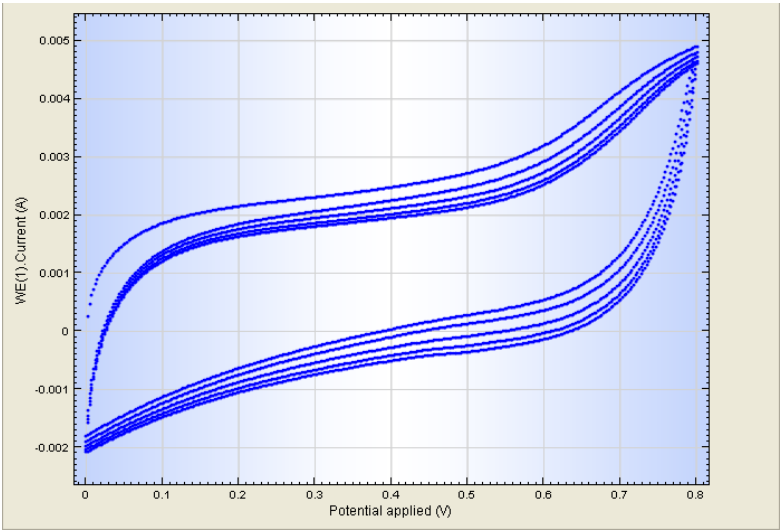


**Lampiran 10: Grafik CV Nickel Foam – Karbon aktif Scan rate 10 mV/s**

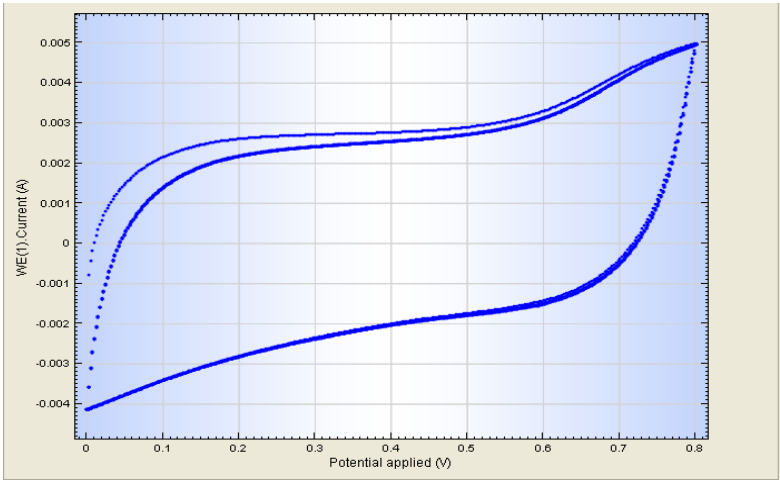




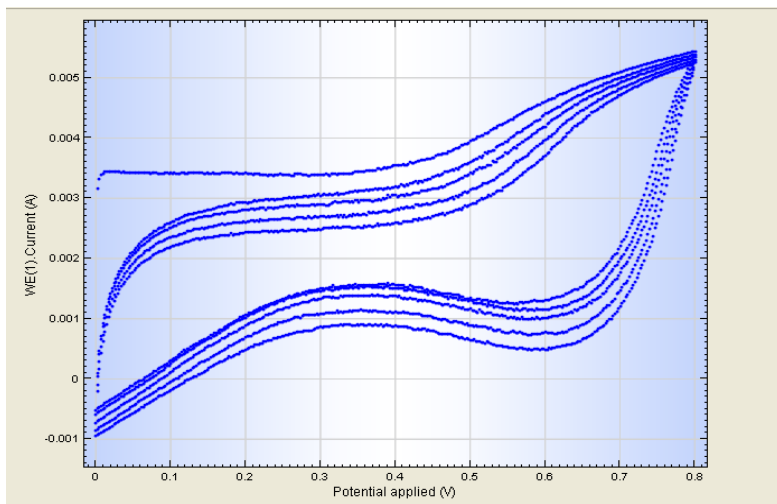
**Lampiran 11: Grafik CV Nickel Foam – Karbon aktif Scan rate 50 mV/s**



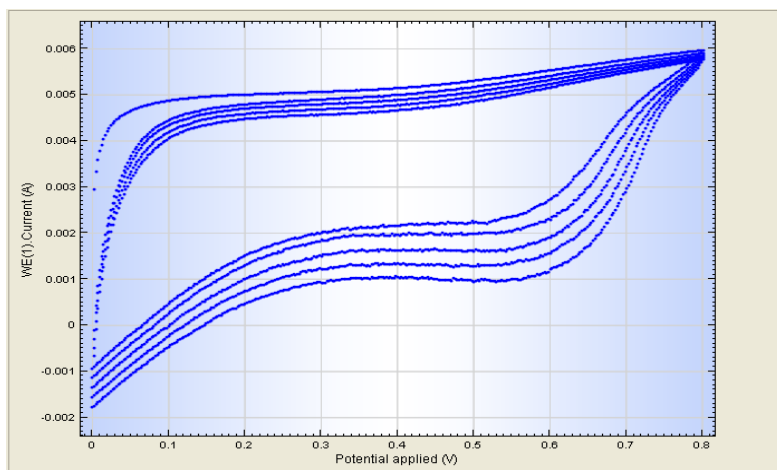
**Lampiran 12: Grafik CV Nickel Foam – Karbon aktif Scan rate 100 mV/s**



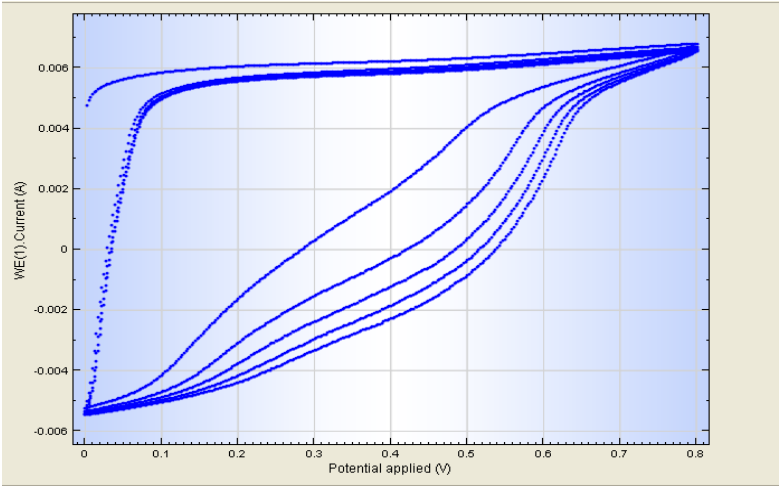
**Lampiran 13: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 5 mV/s**



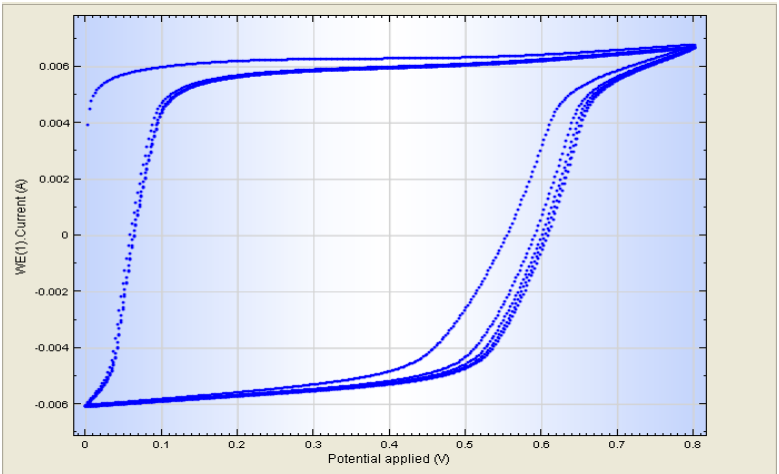
**Lampiran 14 : Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 10 mV/s**



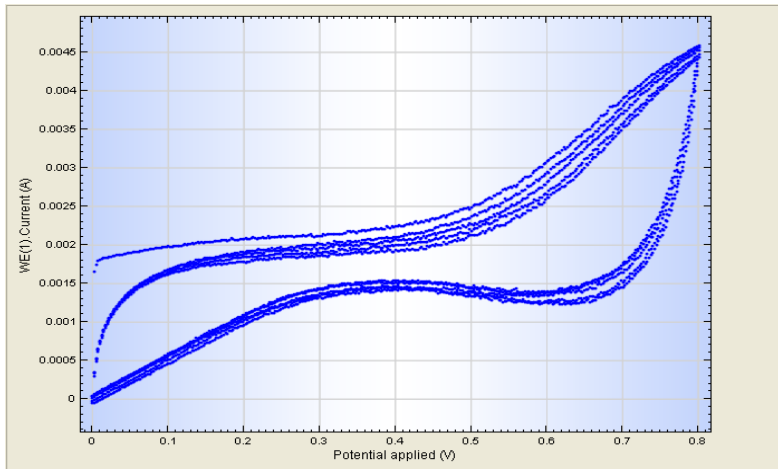
**Lampiran 15: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 50 mV/s**



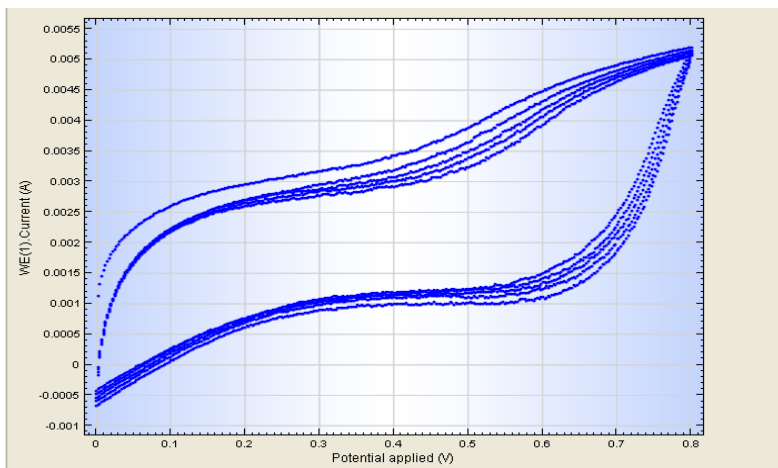
**Lampiran 16: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 100 mV/s**



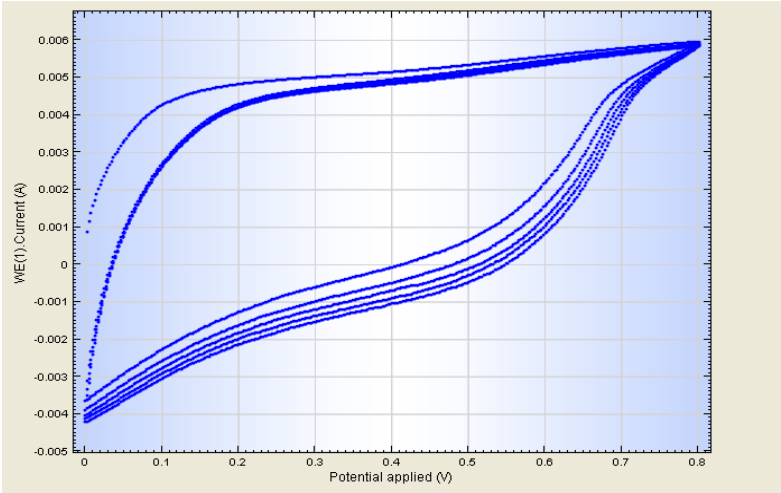
**Lampiran 17: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 5 mV/s**



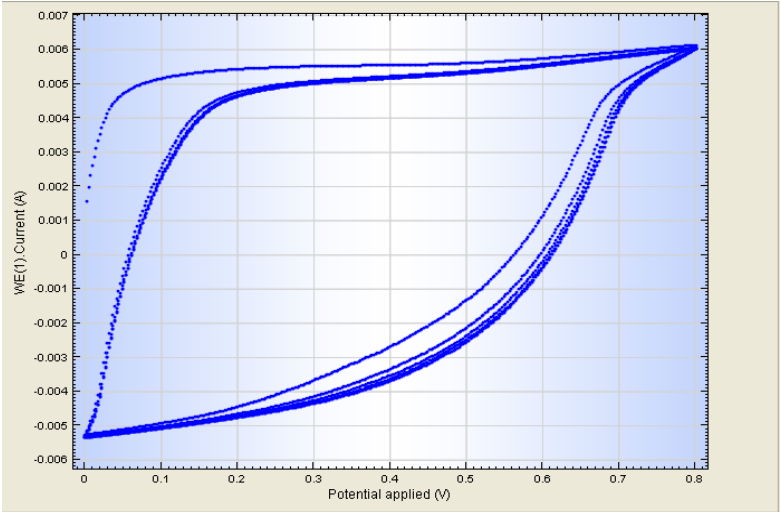
**Lampiran 18: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 10 mV/s**



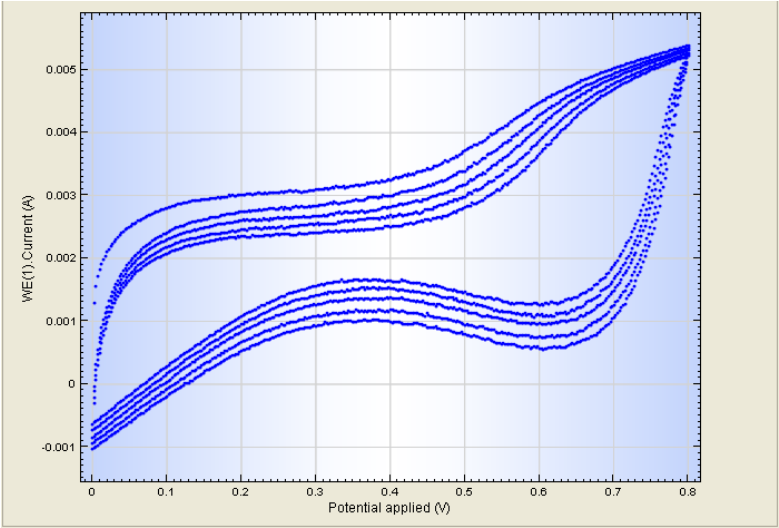
**Lampiran 19: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 50 mV/s**



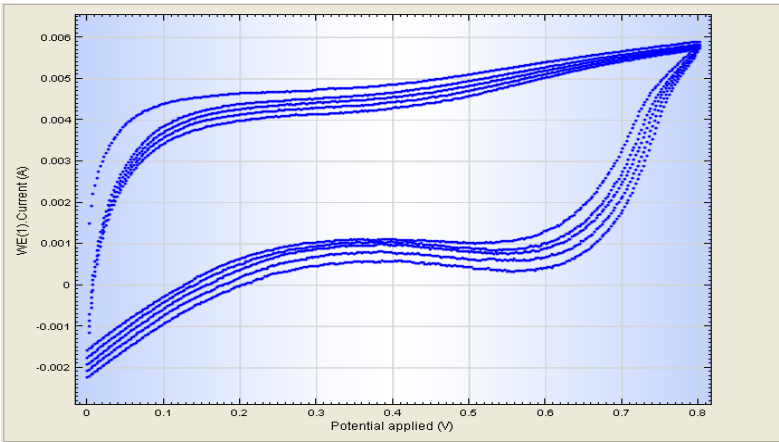
**Lampiran 20: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 100 mV/s**



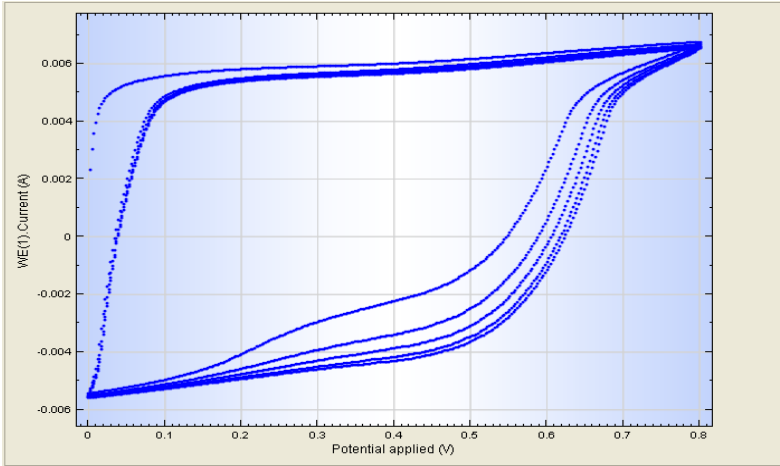
**Lampiran 21: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 5 mV/s**



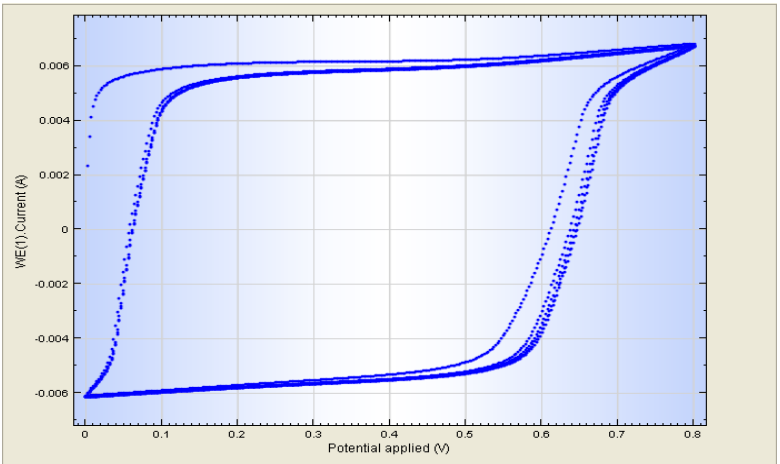
**Lampiran 22: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 10 mV/s**



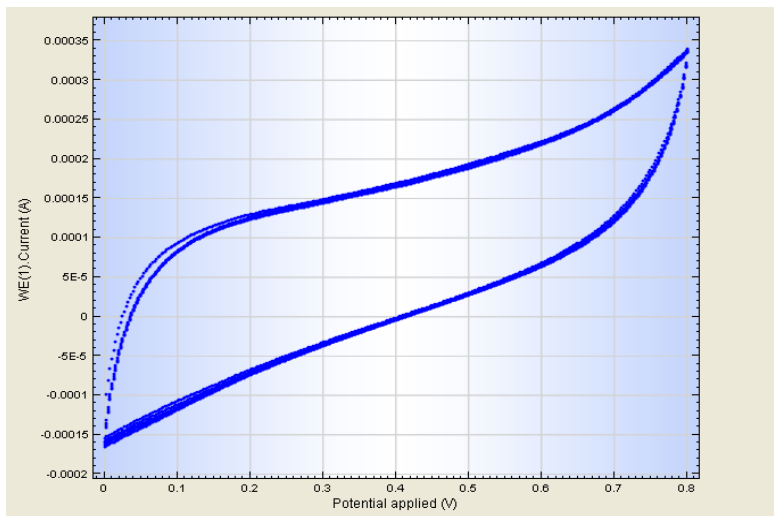
**Lampiran 23: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 50 mV/s**



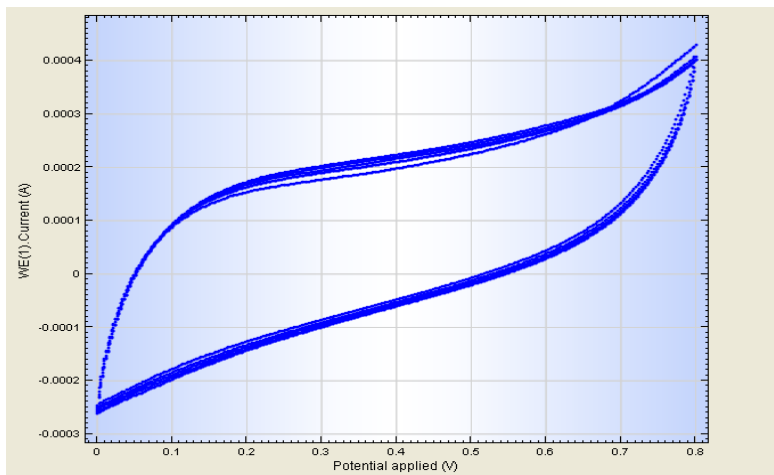
**Lampiran 24: Grafik CV Nickel Foam – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 100 mV/s**



## Lampiran 25: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene* Scan rate 5 mV/s

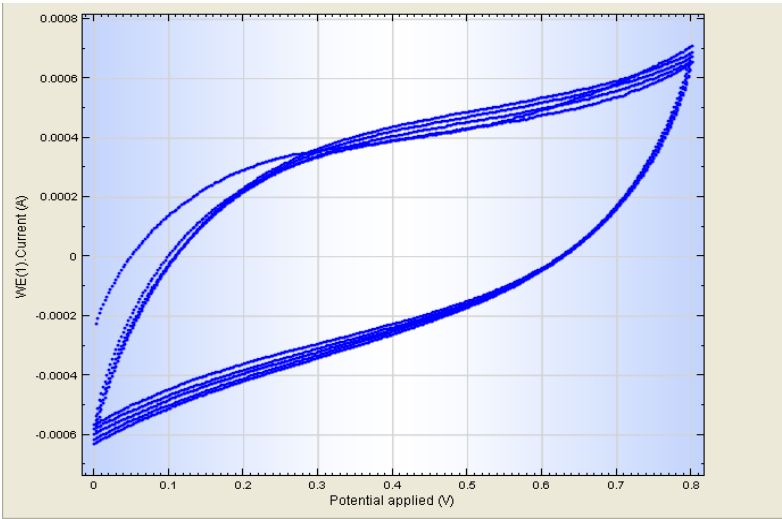


## Lampiran 26: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene* Scan rate 10 mV/s

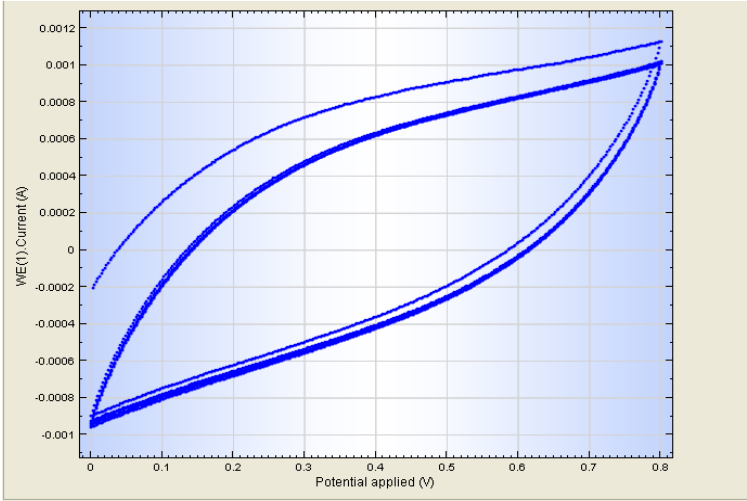




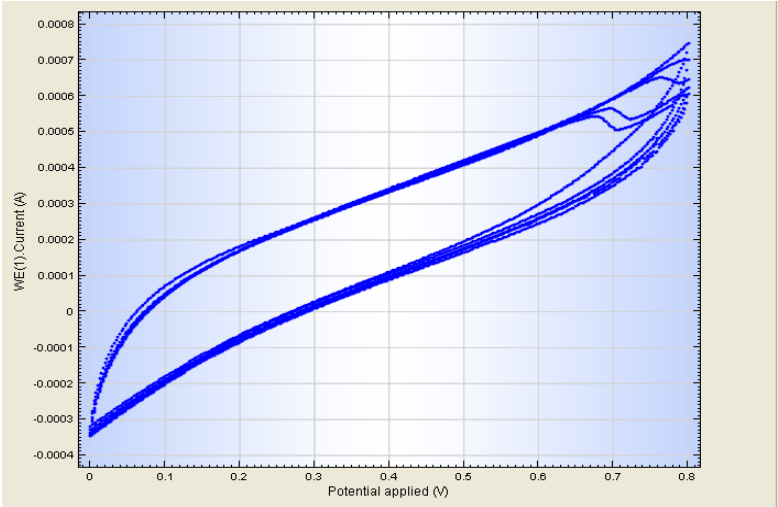
**Lampiran 27: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene* Scan rate 50 mV/s**



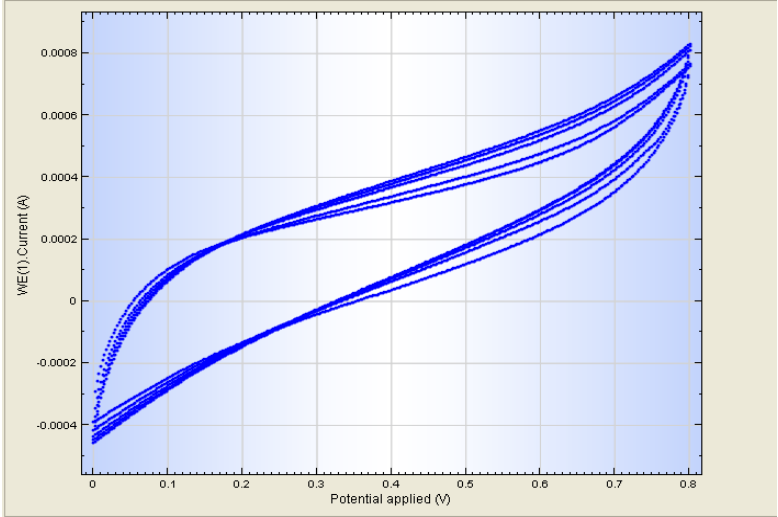
**Lampiran 28: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene* Scan rate 100 mV/s**



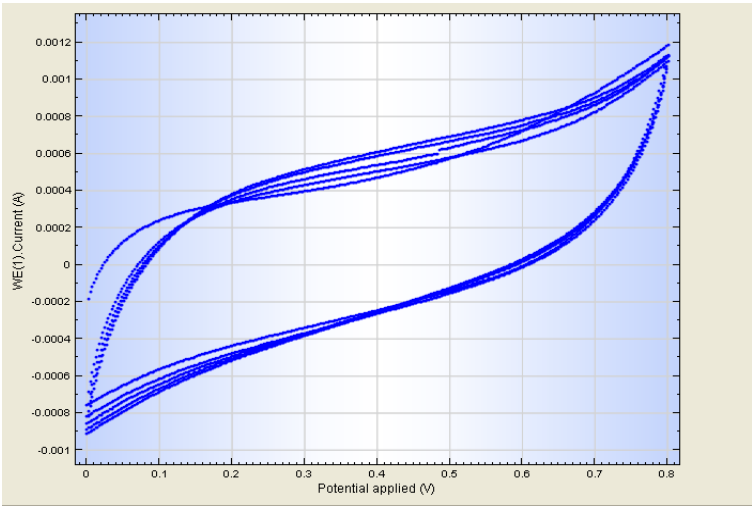
**Lampiran 29: Grafik CV Carbon Cloth – Karbon Aktif Scan rate 5 mV/s**



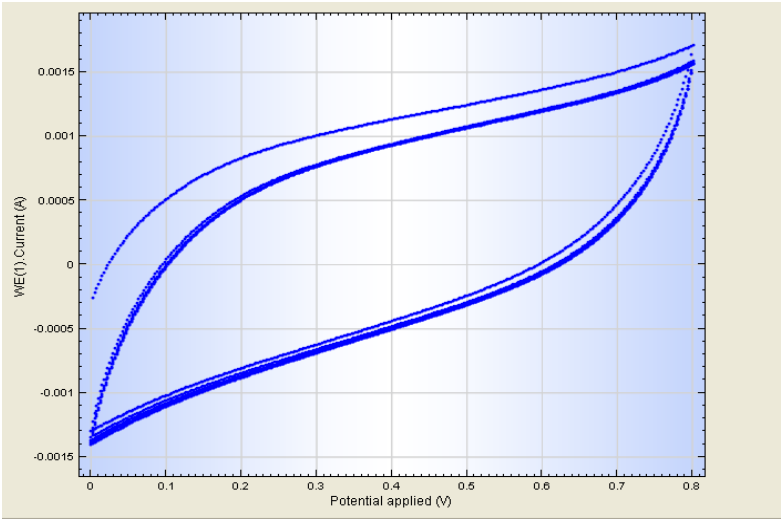
**Lampiran 30: Grafik CV Carbon Cloth – Karbon Aktif Scan rate 10 mV/s**



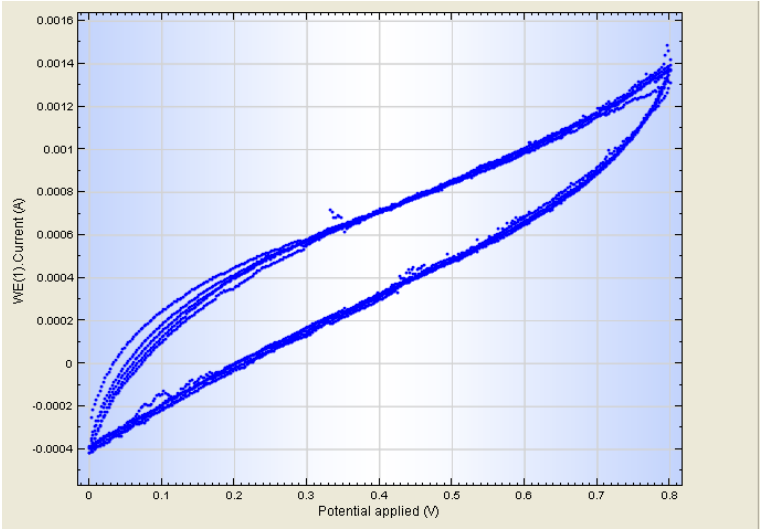
**Lampiran 31: Grafik CV Carbon Cloth – Karbon Aktif Scan rate 50 mV/s**



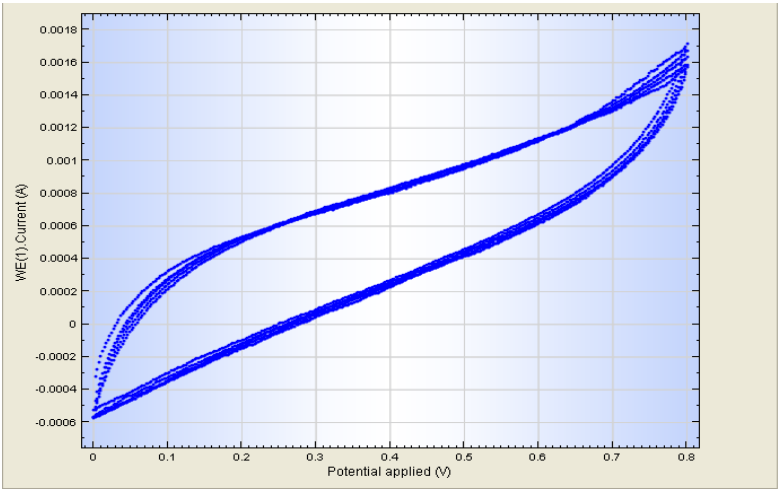
**Lampiran 32: Grafik CV Carbon Cloth – Karbon Aktif Scan rate 100 mV/s**



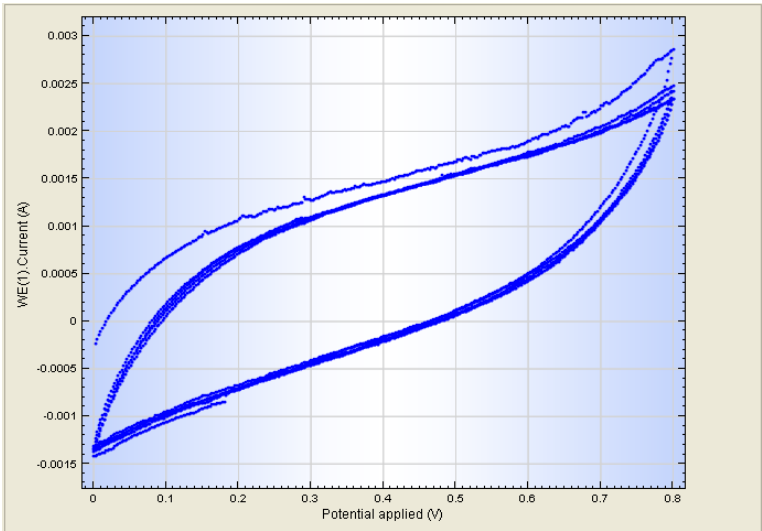
**Lampiran 33: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 5 mV/s**



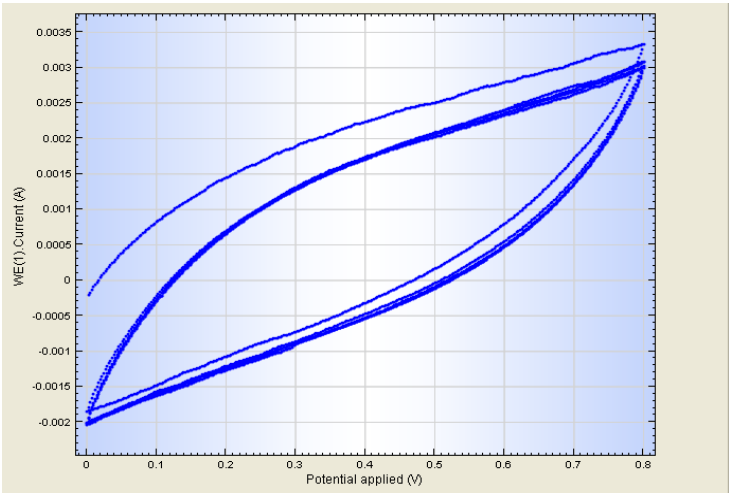
**Lampiran 34: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 5 mV/s**



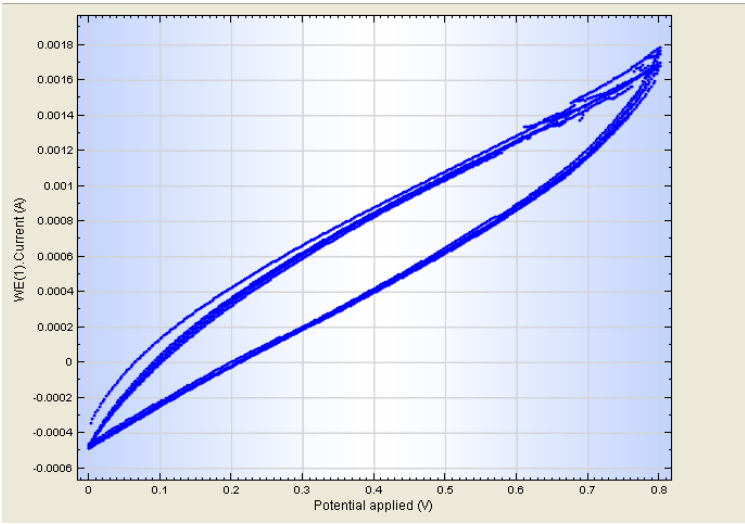
**Lampiran 35: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 5 mV/s**



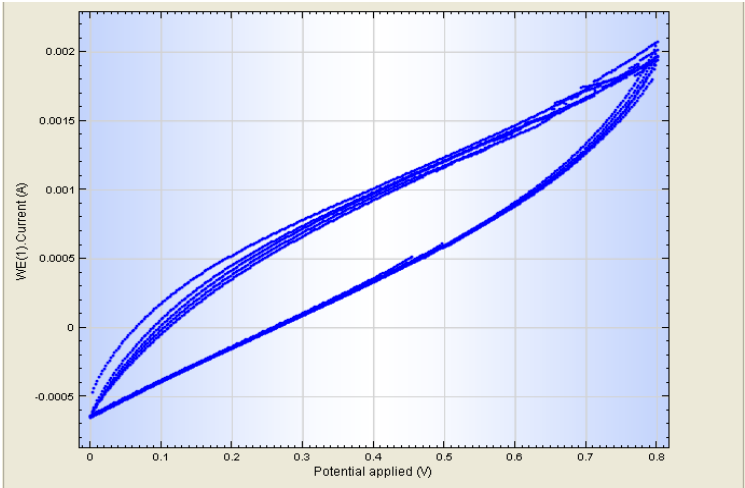
**Lampiran 36: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 80:20 Scan rate 5 mV/s**



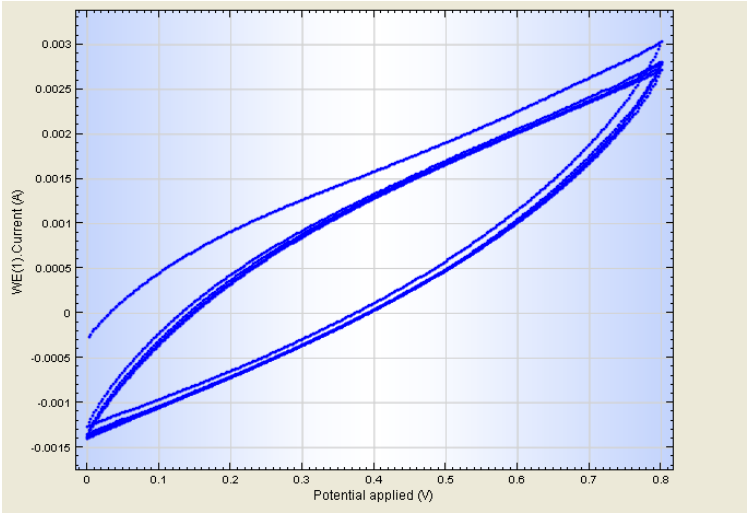
**Lampiran 37: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 5 mV/s**



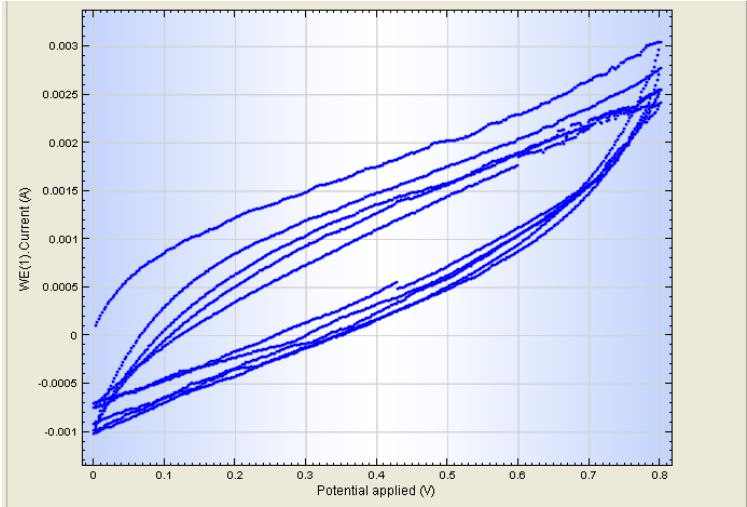
**Lampiran 38: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 10 mV/s**



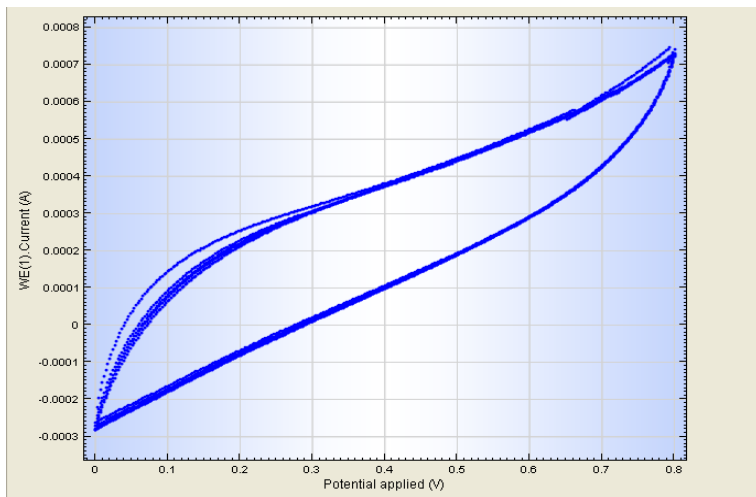
**Lampiran 39: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 50 mV/s**



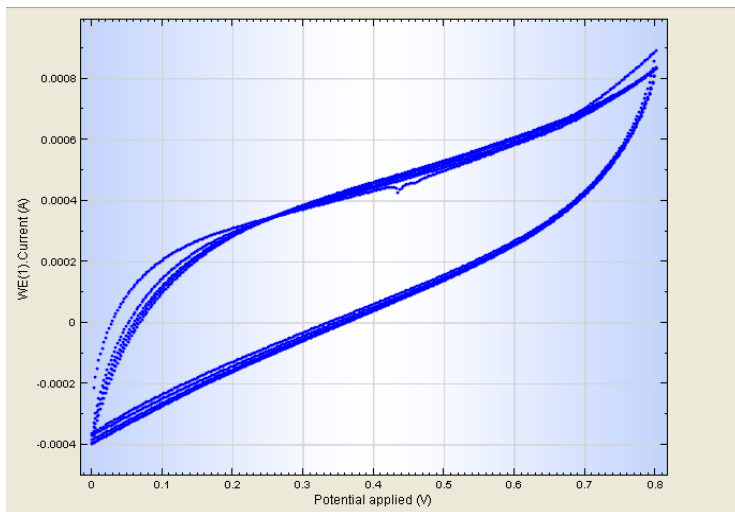
**Lampiran 40: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 70:30 Scan rate 100 mV/s**



**Lampiran 41: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 5 mV/s**

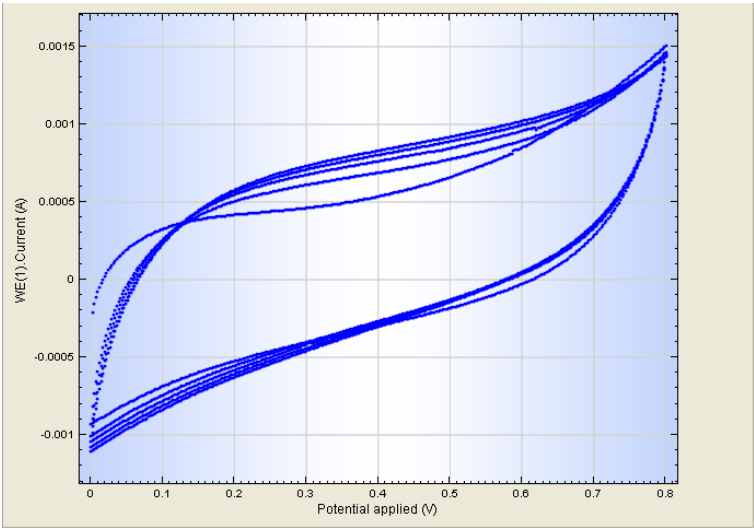


**Lampiran 42: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 10 mV/s**

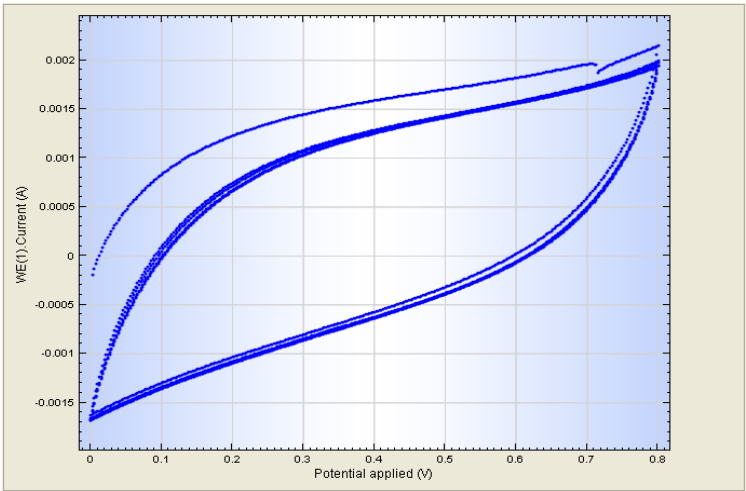




**Lampiran 43: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 50 mV/s**



**Lampiran 44: Grafik CV Carbon Cloth – *Graphene*/karbon aktif 60:40 Scan rate 100 mV/s**



### Lampiran 45: Perhitungan kapasitansi spesifik

massa <i>Grap hene</i>	Media	scan rate	absolute area	rGO terdeposit	E	penyebut	kapasitansi spesifik
60%	Nickel Foam	0.005	0.00260	0.0018	0.8	0.0000144	180.5555
		0.01	0.00429	0.0018	0.8	0.0000288	148.9583
		0.05	0.00780	0.0018	0.8	0.000144	54.1667
		0.1	0.00870	0.0018	0.8	0.000288	30.2083
	Carbon Cloth	0.005	0.00047	0.0007	0.8	0.0000056	83.9285
		0.01	0.00055	0.0007	0.8	0.0000112	48.8392
		0.05	0.00100	0.0007	0.8	0.000056	17.8571
		0.1	0.00150	0.0007	0.8	0.000112	13.3928
70%	Nickel Foam	0.005	0.00278	0.0016	0.8	0.0000128	217.1875
		0.01	0.00343	0.0016	0.8	0.0000256	133.9843
		0.05	0.00534	0.0016	0.8	0.000128	41.7187
		0.1	0.00680	0.0016	0.8	0.000256	26.5625
	Carbon Cloth	0.005	0.00110	0.0006	0.8	0.0000048	229.1667
		0.01	0.00120	0.0006	0.8	0.0000096	125.0000
		0.05	0.00180	0.0006	0.8	0.000048	37.5000
		0.1	0.00200	0.0006	0.8	0.000096	20.8333
80%	Nickel Foam	0.005	0.00315	0.00130	0.8	0.0000104	302.8846
		0.01	0.00485	0.00130	0.8	0.0000208	233.1730
		0.05	0.00740	0.00130	0.8	0.000104	71.1538
		0.1	0.00859	0.00130	0.8	0.000208	41.2980
	Carbon Cloth	0.005	0.00090	0.00040	0.8	0.0000032	281.2500
		0.01	0.00100	0.00040	0.8	0.0000064	156.2500
		0.05	0.00157	0.00040	0.8	0.000032	49.0625
		0.1	0.00217	0.00040	0.8	0.000064	33.9062
100%	Nickel Foam	0.005	0.00114	0.0009	0.8	0.0000072	157.7778
		0.01	0.00213	0.0009	0.8	0.0000144	147.9166
		0.05	0.00698	0.0009	0.8	0.000072	96.9444
		0.1	0.00850	0.0009	0.8	0.000144	59.0069
	Carbon Cloth	0.005	0.00020	0.0002	0.8	0.0000016	125.0000
		0.01	0.00027	0.0002	0.8	0.0000032	84.3750

		0.05	0.00058	0.0002	0.8	0.000016	35.9375
massa <i>Grap hene</i>	Media	scan rate	absolute area	rGO terdeposit	E	penyebut	kapasitansi spesifik
		0.1	0.00088	0.0002	0.8	0.000032	27.5000
Activ ated Carbo n	Nickel Foam	0.005	0.00043	0.0018	0.8	0.0000144	29.7222
		0.01	0.00069	0.0018	0.8	0.0000288	23.8680
		0.05	0.00243	0.0018	0.8	0.000144	16.8750
		0.1	0.00390	0.0018	0.8	0.000288	13.5417
	Carbon Cloth	0.005	0.00046	0.003	0.8	0.000024	18.9583
		0.01	0.00052	0.003	0.8	0.000048	10.7916
		0.05	0.00079	0.003	0.8	0.00024	3.29166
		0.1	0.00120	0.003	0.8	0.00048	2.5000

### Lampiran 46: Perhitungan Spesifik energi dan spesifik power

Massa <i>Graphene</i>	Media	scan rate (V/s)	kapasitansi F/g	Spesifikasi k energi (W/kg)	Spesifik Daya (Wh/kg)	Konversi satua F/Kg	Discharge time s dan h	
60%	Nickel Foam	0.005	215.97222	19.198	431.944	215972.2	160	0.0444
		0.01	148.95833	13.241	595.833	148958.3	80	0.0222
		0.05	54.16667	4.815	1083.333	54166.67	16	0.0044
		0.1	30.20833	2.685	1208.333	30208.33	8	0.0022
	Carbon Cloth	0.005	83.92857	7.460	167.857	83928.57	160	0.0444
		0.01	48.83929	4.341	195.357	48839.29	80	0.0222
		0.05	17.85714	1.587	357.143	17857.14	16	0.0044
		0.1	13.39286	1.190	535.714	13392.86	8	0.0022
70%	Nickel Foam	0.005	180.5555	19.306	434.375	217187.5	160	0.0444
		0.01	133.98438	11.910	535.938	133984.4	80	0.0222
		0.05	41.71875	3.708	834.375	41718.75	16	0.0044
		0.1	26.56250	2.361	1062.500	26562.5	8	0.0022
	Carbon Cloth	0.005	229.16667	20.370	458.333	229166.7	160	0.0444
		0.01	125.00000	11.111	500.000	125000	80	0.0222
		0.05	37.50000	3.333	750.000	37500	16	0.0044
		0.1	20.83333	1.852	833.333	20833.33	8	0.0022
80%	Nickel Foam	0.005	302.88462	26.923	605.769	302884.6	160	0.0444
		0.01	233.17308	20.726	932.692	233173.1	80	0.0222
		0.05	71.15385	6.325	1423.077	71153.85	16	0.0044
		0.1	41.29808	3.671	1651.923	41298.08	8	0.0022
	Carbon Cloth	0.005	281.25000	25.000	562.500	281250	160	0.0444
		0.01	156.25000	13.889	625.000	156250	80	0.0222
		0.05	49.06250	4.361	981.250	49062.5	16	0.0044
		0.1	33.90625	3.014	1356.250	33906.25	8	0.0022

Massa <i>Graphene</i>	Media	scan rate (V/s)	kapasitansi F/g	Spesifikasi energi (W/kg)	Spesifik Daya (Wh/kg)	Konversi satua F/Kg	Discharge time s dan h	
100%	Nickel Foam	0.005	157.77778	14.025	315.556	157777.8	160	0.0444
		0.01	147.91667	13.148	591.667	147916.7	80	0.0222
		0.05	96.94444	8.617	1938.889	96944.44	16	0.0044
		0.1	59.00694	5.245	2360.278	59006.94	8	0.0022
	Carbon Cloth	0.005	125.00000	11.111	250.000	125000	160	0.0444
		0.01	84.37500	7.500	337.500	84375	80	0.0222
		0.05	35.93750	3.194	718.750	35937.5	16	0.0044
		0.1	27.50000	2.444	1100.000	27500	8	0.0022
Carbon Aktif	Nickel Foam	0.005	29.72222	2.642	59.444	29722.22	160	0.0444
		0.01	23.86806	2.122	95.472	23868.06	80	0.0222
		0.05	16.87500	1.500	337.500	16875	16	0.0044
		0.1	13.54167	1.204	541.667	13541.67	8	0.0022
	Carbon Cloth	0.005	18.95833	1.685	37.917	18958.33	160	0.0444
		0.01	10.79167	0.959	43.167	10791.67	80	0.0222
		0.05	3.29167	0.293	65.833	3291.667	16	0.0044
		0.1	2.50000	0.222	100.000	2500	8	0.0022

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Proses deposit *Graphene* dengan penambahan karbon aktif serbuk dengan variasi karbon aktif 20%wt, 30%wt dan 40%wt terbukti meningkatkan nilai kapasitansi dari *Graphene* hal ini dikarenakan penambahan karbon aktif menambah luas permukaan aktif elektroda untuk menerima muatan dari elektrolit akibat diberikan beda potensial.
2. Penambahan karbon aktif 20%wt merupakan yang paling optimal, karena didapatkan nilai kapasitansi yang paling tinggi sebesar 302.88 F/g.
3. Penggunaan nickel foam sebagai *current collector* terbukti lebih baik dibanding dengan carbon cloth, hal ini ditunjukkan oleh nilai kapasitansi nickel foam di semua scan rate dan material yang digunakan lebih tinggi dibanding carbon cloth

#### **5.2 Saran**

1. Melakukan Uji Surface Area Analyzer sebagai data penunjang luas permukaan aktif *Graphene* dan karbon aktif
2. Pengujian Cyclic Voltametry Carbon Cloth harus dilakukan lebih teliti dan mencelupkan daerah yang banyak terdeposit material yang diinginkan ke dalam larutan elektrolit

## **LAPORAN TUGAS AKHIR**

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Superkapasitor berbahan *Graphene*

---



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ander González, EiderGoikolea, Jon Andoni Barrena, Roman Mysyk (2016). *Review on supercapacitors: Technologies and materials Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58, 1189–1206.
- Chao Z, Xufeng Z, Hailiang C, Guohua W, Zhaoping L. 2015. “*Synthesis of porous Graphene/activated carbon composite with high packing density and large specific surface area for supercapacitor electrode material*”. China : *Journal of Power Sources* 258 290-296.
- Choi, Hyun-Jung, Sun M. Jung, Jeong M. Seo, Dong W. Chang, Liming Dai, dan Jong B. Baek. 2012. “*Graphene for energy conversion and storage in fuel cells and supercapacitors*”. **Nano Energy** 1: 534-551
- Dabin W, Zhen G, Bing Li, Cunman Z. 2015. “*High performance electrode materials for electric double-layer capacitors based on biomass-derived activated carbons*”. China : *Electrochimica Acta* 173 (377–384)
- Haniffudin N., dan Diah Susanti. 2012. “*Pengaruh variasi temperatur karbonisasi dan temperatur aktivasi fisika dari elektroda karbon aktif tempurung kelapa dan tempurung kluwak terhadap nilai kapasitansi electric double layer capacitor(EDLC)*”. Surabaya : Tugas Akhir, ITS.
- Haniffudin N., dan Diah Susanti. 2014. “*Pengaruh Temperatur Hidrotermal dan Waktu Ultrasonikasi Terhadap Nilai Kapasitansi Elektroda Electric Double Layer Capacitor (EDLC) dari Material Grafena*”. Surabaya: Tesis, ITS
- Hantel, M. Moritz, Alexander Wokaun, Reinhard Nesper, dan Rudiger Kotz. 2013. “*Graphite oxide and Graphene oxide based electrode materials for electrochemical double layer capacitors*”. Munchen: Technische Universitat Munchen
- Hsien-Chang Wu, Eric Lee, Nae-Lih Wua., T.Richard Jow.,



## LAPORAN TUGAS AKHIR

Analisa Pengaruh Penambahan Karbon aktif dan  
Jenis Material Peyangga Elektroda terhadap  
Sifat Kapasitif Supercapasitor berbahan *Graphene*

---



- (2012) *Effects of current collectors on power performance of Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub> anode for Li-ion Battery*. Journal of Power Sources 197 (2012) 301–304.
- Ilhami, Riski, dan Diah Susanti. 2014. “*Pengaruh massa Zn dan temperatur hydrothermal terhadap struktur dan sifat elektrik material Graphene*”. Surabaya: Tugas Akhir, ITS
- Izadi, N.A., Dkk. (2011), *High-Power Supercapacitor Electrodes from Single-Walled Carbon Nanohorn/ Nanotube Composite*, ACS Nano, Vol. 5, No. 2, pp. 811-819.
- Januardana H, Diah S, dan Hariyati P 2015. “Analisa Pengaruh Massa Zinc dan Jenis Larutan Elektrolit Terhadap Sifat Kapasitif Supercapasitor Berbahan *Graphene*”. Surabaya: Tugas Akhir, ITS
- Mei, Xiufeng, Xiuqing Meng, dan Fengmin Wu. 2015. “*Hydrothermal method for the production of reduced Graphene oxide*”. **Physica E** 68: 81-86
- Mohan, Velram Balaji, Reuben B., Krishnan J., dan Debes Bhattacharyya. 2015. “*Characterisation of reduced Graphene oxide: Effects of reduction variables on electrical conductivity*”. **Materials Science and Engineering B** 193: 49-60
- Zhu, Z., Hu, H., Li, W., dan Zhang, X., 2007. *Resorcinol Formaldehyde Based Porous Carbon as an Electrode Material for Supercapacitors*, Carbon, 45; 160-165.

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Hoppy Adi Putra ini dilahirkan di kota Surabaya, 04 September 1994, merupakan putra dari pasangan Bapak Muljadi dan Ibu Widowati. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN Klampis Ngasem 1, SMP Negeri 19 Surabaya, dan SMA Negeri 1 Surabaya. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis diterima menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi

FTI-ITS.

Penulis aktif sebagai staff Divisi Olahraga Badan Semi Otonom (BSO) Minat Bakat periode 2013/2014. Aktif sebagai Ketua Klub Keilmiahan ITS 2014/2015. Dan, terakhir aktif sebagai Menteri Riset dan Teknologi BEM ITS 2015/2016.

Dalam kegiatan akademik, penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT Holcim Indonesia Tuban Plant. Di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang Studi Material Inovatif.

Alamat penulis saat ini adalah Jalan Klampis Adji 2 nomor 46, Kecamatan Sukolilo, Surabaya. Nomor telepon selular yang dapat dihubungi 085733083034 atau alamat email *hoppy.adiputra@gmail.com*.